GAS TURBINE ENGINE

XI

SEMESTER 3

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Didalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. BukuSiswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus **dilakukan** peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus **dilakukan** peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014

Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

DAFTAR ISI

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Buku Teks Bahan Ajar Siswa Gas Turbine Engine ini digunakan sebagai buku sumber pada kegiatan belajar untuk pencapaian kompetensi siswa pada Mata Pelajaran Gas Turbine Engine, Sebagai Dasar Program Keahlian pada Kelompok Kejuruan Program Keahlian Teknologi Pesawat Udara Bidang Keahlian Teknologi dan Rekayasa.

Buku Teks Bahan Ajar Siswa Gas Turbine Engine terdiri atas 4 jilid buku. Buku Gas Turbine Engine 1 digunakan untuk pembelajaran Kelas XI semester 3. Pada buku jilid 1 ini dibahas materi belajar yang meliputi;

1. Konsep dasar prinsip kerja Gas Turbine Engine ,
2. Kinerja Engine (*Engine Performance*)
3. Bagian-bagian Gas Turbine Engine
4. Bearing and seals
5. Engine Indication

Buku Teks Bahan Ajar Siswa Gas Turbine Engine disusun berdasarkan penguasaan konsep dan prinsip serta keterampilan teknis keahlian sehingga setelah mempelajari buku ini, siswa memiliki penguasaan pelaksanaan pekerjaan Perawatan Gas Turbine Engine.

B. Prasyarat

Kemampuan awal Siswa sebelum mempelajari Buku Teks Bahan Ajar Siswa "Gas Turbine Engine" yaitu siswa telah memiliki pengetahuan dan pemahaman tentang konsep gambar teknik, fisika , matematika dan aerodinamika.

C. Petunjuk Penggunaan

1. Petunjuk penggunaan bagi Siswa :

a. Siswa harus memahami mata pelajaran atau materi yang menjadi prasarat pemelajaran modul ini, yaitu gambar teknik,fisika,matematika dan aerodinamika.
b. Lakukan kegiatan pemelajaran secara berurutan dari bab 1 ke bab berikutnya.
c. Pelajari dan pahami setiap uraian materi dengan seksama.
d. Lakukan kegiatan yang diberikan pada uraian materi pembelajaran. Kegiatan tersebut dirancang dalam bentuk; Eksplorasi, Diskusikan dan Simpulkan serta kegiatan Asosiasi.
e. Kegiatan praktik kejuruan dilaksanakan dalam bentuk latihan keterampilan, kerjakan latihan tersebut dibawah pengawasan guru.
f. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan pada setiap pembelajaran untuk menyelesaikan tugas dan evaluasi hasil belajar
g. Lakukan setiap kegiatan dengan tekun, teliti dan hati-hati.
h. Jawablah soal evaluasi pada bagian Review secara individual

i. Jawablah soal evaluasi pada bagian penerapan dan diskusikan dikelas hasil jawaban tersebut.
j. Lakukan tugas proyek yang diberikan pada soal evaluasi bagian tugas proyek secara individu atau kelompok, lalu presentasikan dikelas hasil pelaksanaan tugas proyek tersebut.
k. Uji kompetensi kejuruan adalah tugas proyek individual untuk mengevaluasi capaian keterampilan siswa, kerjakan uji kompetensi sesuai petunjuk.
l. Siswa dinyatakan tuntas menyelesaikan materi pada bab terkait, jika Siswa menyelesaikan kegiatan yang ditugaskan dan menyelesaikan kegiatan evaluasi dengan nilai minimal sama dengan Kriteria Kelulusan Minimal (KKM).

2. Peran Guru:

a. Merencanakan kegiatan pembelajaran siswa selama satu semester sesuai silabus.
b. Membantu Siswa dalam merencanakan proses belajar
c. Membantu Siswa dalam memahami konsep dan praktik.
d. Memberikan motivasi, membimbing dan mengarahkan siswa dalam melakukan kegiatan yang diberikan pada uraian materi pembelajaran. Kegiatan tersebut dirancang dalam bentuk; Eksplorasi, Diskusi dan Asosiasi.
e. Menekankan, selalu mengecek dan memfasilitasi penggunaan K3 sesuai kegiatan yang dilaksanakan.
f. Memberikan contoh, memandu dan melakukan pengawasan pelaksanaan tugas siswa yang berkaitan dengan pembelajaran praktik di lab atau bengkel kerja.
g. Membantu Siswa untuk menetukan dan mengakses sumber belajar lain yang diperlukan untuk kegiatan pembelajaran.
h. Merencanakan seorang ahli/pendamping guru dari tempat kerja/industri untuk membantu jika diperlukan
i. Merencanakan proses penilaian dan menyiapkan perangkatnya
j. Memeriksa seluruh hasil pekerjaan siswa baik berupa hasil pelaksanaan kegiatan maupun jawaban dari evaluasi belajar.
k. Mencatat dan melaporkan pencapaian kemajuan Siswa kepada yang berwenang.

D. Tujuan Akhir

Hasil akhir dari seluruh kegiatan belajar dalam buku teks bahan ajar siswa ini adalah Siswa;

1) Menalar konsep dasar prinsif kerja gas turbine engine
2) Menguji Engine Performance
3) Merawat bagian-bagian GTE
4) Merawat bearing and seals
5) Menguji berbagai engine indication (engine instrument)
6) Mampu menggunakan alat ukur untuk keperluan perawatan gas turbine engine sesuai fungsi dan prosedur.
7) Mampu memilih perkakas tangan dan mekanik perawatan gas turbine engine sesuai fungsi
8) Mampu menggunakan perkakas tangan dan mekanik perawatan gas turbine engine sesuai SOP

E. Kompetensi Inti Dan Kompetensi Dasar

BIDANG KEAHLIAN : TEKNOLOGI DAN REKAYASA

PROGRAM KEAHLIAN : TEKNOLOGI PESAWAT UDARA

MATA PELAJARAN : GAS TURBINE ENGINE

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)	KOMPETENSI DASAR
KI-1 Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	1.1 Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakandalamperawatan gas turbine engine..
	1.2 Mengamalkannilai-nilaiajaran agama sebagai tuntunan dalampenggunaan gas turbine engine.
KI-2 Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1 Mengamalkanperilakujujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingintahu, inovatif dan tanggungjawabdalam menerapkan aturan penggunaan gas turbine engine.
	2.2 Menghargaikerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalammenyelesaikanmasalahperbedaankonsepberpikirdancara melakukanperawatan gas turbine engine...
KI-3 Memahami,menerapkandanmenganalisispengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan,	3.1 Memahami konsep dasar prinsip kerja GTE (*GTE Fundamentals*)
	3.2 Menerapkan*Engine Performance*
	3.3 Mengevaluasi bagian-bagian GTE (*Air Inlet, Compressors, Combustion Section, Turbine Section, Exhaust*)

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)	KOMPETENSI DASAR
dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidangkerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.4 Menganalisis *Bearing and Seals*
	3.5 Mengevaluasi berbagai *Engine Indication (engine instrument)*
	3.6 Menganalisis mekanisme pada *Gas Turbine Engine (Turboprop, TurboShaft, turbojet, turbofan)*
	3.7 Memahami fungsi dan prinsip kerja *Auxiliary Power Units (APUs)*
	3.8 Memahami komponen-komponen pada Powerplant Installation
	3.9 Memahami*Engine Monitoring and Ground Operation*
	3.10 Menerapkan*Engine Storage and Preservation*
	3.11 Menerapkan*safety precaution*
KI-4 Mengolah, menalar, danmenyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif, dan mampumelaksanakantugasspesifik di bawahpengawasanlangsung.	4.1 Menalar konsep dasar prinsip kerja GTE (*GTE Fundamentals*)
	4.2 Menguji *Engine Performance*
	4.3 Merawat bagian-bagian GTE (*Air Inlet, Compressors, Combustion Section, Turbine Section, Exhaust*)
	4.4 Merawa*t Bearing and Seals*
	4.5 Menguji berbagai *Engine Indication (engine instrument)*
	4.6 Menalar mekanisme pada *Gas Turbine Engine (Turboprop, TurboShaft, turbojet, turbofan)*
	4.7 Merawat Auxiliary Power Units (APUs)
	4.8 Merawat komponen-komponen pada Powerplant Installation
	4.9 Melaksanakan *Engine Monitoring and Ground Operation*
	4.10 Melaksanakan *Engine Storage and Preservation*
	4.11 Melaksanakankan*safety precaution*

F. Cek Kemampuan Awal

Berilah tanda silang (x) pada tabel dibawah ini, dengan pilihan “ya” atau “tidak” dengan sikap jujur dan dapatdipertanggungjawabkan untuk mengetahui kemampuan awal yang telah Kamu (Siswa) miliki.

<table>
<tr><th rowspan="2">No</th><th rowspan="2">Kompetensi Dasar</th><th rowspan="2">Pernyataan</th><th colspan="2">Dapat Melakukan Pekerjaan Dengan Kompeten</th><th rowspan="2">Jika “Ya” Kerjakan</th></tr>
<tr><th>Ya</th><th>Tidak</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">Menalar konsep dasar prinsip kerja GTE (GTE Fundamentals)</td><td>Dapat menjelaskan prinsif kerja gas turbine engine</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">Evaluasi Belajar Bab 2</td></tr>
<tr><td>Dapat menjelaskan fungsi bagian-bagian gas turbine engine</td></tr>
<tr><td>Dapat menjelaskan karakteristik macam-macam gas turbine engine</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Menguji Engine Performance</td><td>Dapat menjelaskan kinerja gas turbine engine</td><td></td><td></td><td>Evaluasi Belajar Bab 3</td></tr>
</table>

No	Kompetensi Dasar	Pernyataan	Dapat Melakukan Pekerjaan Dengan Kompeten		Jika "Ya" Kerjakan
			Ya	Tidak	
		Dapat mengidentifikasi performance gas turbine engine			
3	Merawatbagian -bagian GTE (*Air Inlet, Compressors, Combustion Section, Turbine Section, Exhaust*)	Dapat melakukan remove, install , bagian-bagian gas turbine engine			Evaluasi Belajar Bab 4
		Dapat melakukan inspeksi kondisi bagian-bagian gas turbine engine			
4	Merawat *Bearing and Seals*	Dapat menjelaskan fungsi bearing dan seals			Evaluasi Belajar Bab 5
		Dapat melakukan inspeksi dan perawatan terhadap bearing dan seals			
5	Menguji berbagai *Engine Indication (engine instrument)*	Dapat membaca kinerja berbagai engine indication			Evaluasi Bab 6

BAB 2 KONSEP DASAR PRINSIP KERJA GAS TURBINE ENGINE

Turbin gas dipergunakan dalam bidang-bidang yang memerlukan daya poros dan panas, kedua-duanya atau hanya salah satu saja. Turbin gas ini dipergunakan dalam motor-motor pesawat terbang seperti turbo propeller dan turbo jet, pada kendaraan-kendaraan bermotor, pada kapal-kapal, lokomotif- lokomotif dan lain lain. Sebagai penggerak utama, turbin gas juga dipergunakan untuk menggerakkan ko mpresor kompresor, pompa-pompa, fan-fan dan generator-generator listrik

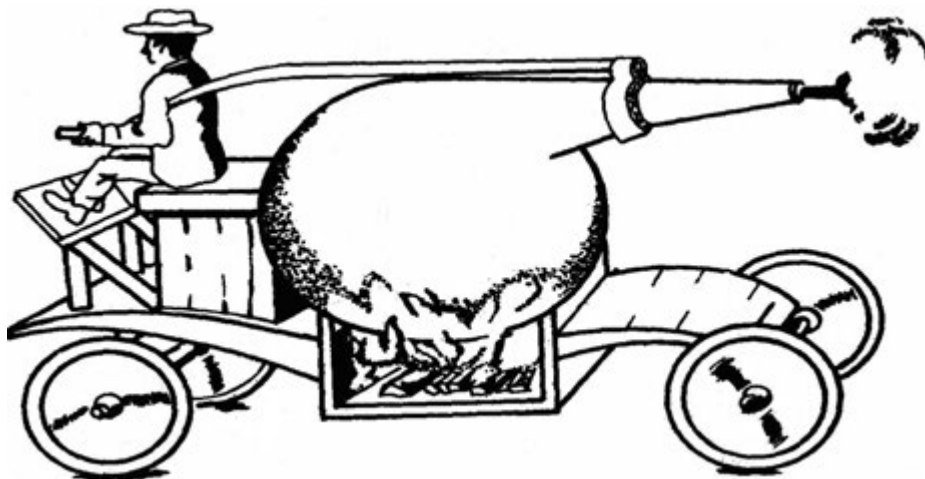
Penemuan Turbin Gas

Tidak seorangpun mengetahui dengan jelas tentang siapa sebenarnya yang pertama kali menemukan prinsip turbin gas tersebut, tetapi kadang-kadang penghormatan telah diberikan kepada scorang yang bernama Hero dari Mesir kira-kira 150 tahun sebelum Masehi. Dia menemukan suatu mainan yang berputar akibat prinsipi reaksi dari aliran uap yang diperoleh dari pemanasan air di-dalam ketel seperti terlihat pada gambar .1.

Gambar -1 Hero aeolipile

Pada gambar 2 merupakan suatu penemuan yang disebut dengan kendaraan Newton yang dapat bergerak maju akibat gaya reaksi dari uap yang dilepaskan ke belakang.

Pengembangan Turbin Gas.Gagasan tentang sistem turbin gas telah dikembangkan terus menerus. Desain pertama yang penting dibuat oleh John Barber dari Inggris pada tahun 1791.

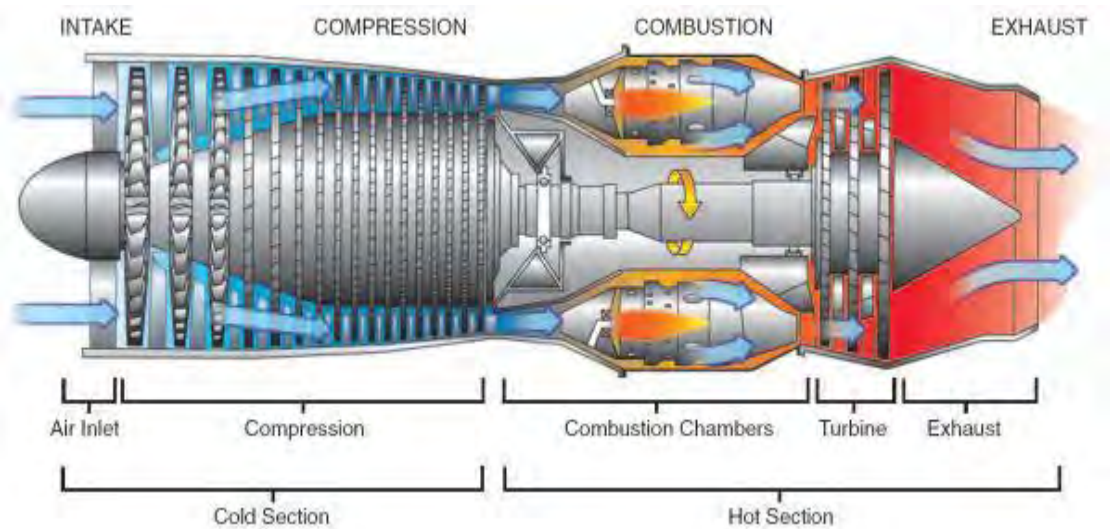
Sistem turbin gas tersebut telah dilengkapi dengan komponen-komponen sistem gas turbin yang moderen, dan sistem tersebut bekerja dengan gas hasil pembakaran bahan-bakar. Kompressornya-pun telah digerakkan oleh turbin dengan pe-rantaraan rantai roda gigi. Pada tahun 1872, Stolze mungkin adalah orang yang pertama kali mendesain suatu sistem turbin gas yang sesungguhnya.

Gambar -2 Kendaraan Newton

Dalam sistem turbin gas tersebut digunakan kompresor aksial bertingkat ganda yang digerakkan langsung oleh turbin reaksi bertingkat ganda, dimana turbin tersebut digerakkan oleh gas hasil pembakaran dari bahan-bakar dan udara didalam ruang bakar.

Pengujian terhadap sistem turbin gas tersebut dilaksanakan dalam tahun 1900 dan 1904. Pada tahun 1884 seorang Inggris bernama Sir Charles Parson menemukan suatu turbin uap, yang menjelaskan lebih lanjut tentang teori bahwa turbin dapat digunakan untuk menggerakkan kompresor dengan mendapalkan tenaga dari luar dan dengan arah yang berlawanan. Parson juga berpendapat bahwa udara yang di kompresikan dapat dimasukkan ke dalam suatu ruang bakar, kemudian bahan bakar dimasukkan dan gas hasil pembakaran mengembang melalui turbin. Ide dari sistem turbin kompresor ini pada dasarnya adalah sama seperti apa yang telah dibuat pada saat ini kecuali bentuk dari sudu-sudunya.

Pada tahun 1900 Dr. Sanford A. Moss seorang Amerika yang bekerja pada perusahaan General Electric, menemukan suatu motor turbin gas tetapi masih kurang sukses karena daya yang dibutuhkan untuk memutarkan kompresor ternyata lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh motor turbin gas tersebut. Akan tetapi data-data penemuannya itu mempunyai nilai yang tinggi sehingga pada perusahaan tersebut dilaksanakan suatu proyek motor turbin gas pada tahun 1903 dan akhirnya pada waktu perang dunia ke satu dibuatlah suatu motor General Electric turbo super charger. Seorang Inggris bernama Frank Whittle mulai bekerja pada motor turbin gas sejak ia masih belajar sebagai Kadet Royal Air Force, dimana pada tahun 1937 dia mengeluarkan suatu konsepsi tentang motor turbin gas yaitu kompresor ditempatkan pada bagian depan dan turbin pada bagian belakang pada poros yang sama, energi panas diberikan melalui ruang bakar pada turbin, dan pancaran gas dikeluarkan pada bagian pembuangan. Pada tahun 1937 motor turbin gas hasil rencana dari Whittle ini dicoba putar pada bangku uji dengan hasil yang memuaskan, sehingga.pada bulan Mei 1941 terbang uji pun dimulai dengan pesawat terbang experimental Gloster E 28/39 yang ditenagai oleh motor turbin gas Wl (Whittle 1), hasil dari terbang uji ini sangat memuaskan sehingga pabrik-pabrik maupun pemerintah sangat tertarik untuk lebih mengembangkannya lagi.

Pada tahun-tahun yang hampir bersamaan pengembangan terhadap motor turbin gas ini dilakukan dibeberapa negara, seperti di Italia misalnya Secohdo Campini membuat motor turbin gas yang ditempatkan pada suatu pesawat terbang dan melakukan terbang uji pertama bulan Agustus 1940 selama 10 menit dengan basil yang memuaskan.

Tercatat juga bahwa pada Nopember 1941, Kolonel Mario De Bernardini melakukan penerbangan dari Milan ke Roma dengan pesawat yang ditenagai oleh motor turbin gas dengan kecepatan rata-rata 130 mil per jam.

Gambar -3 Bagian utama motor Turbojet

Sementara itu di Jerman perusahaan Heinkel Aircraft Company, sukses juga dengan pengembangan motor turbin gas ini sehingga pada tahun 1939 dibuat pesawat terbang Heinkel He 178 yang ditenagai oleh motor He S3B yang mempunyai gaya dprong sebesar 880 sampai 1100 lb.

Demikianlah selanjutnya perusahaan-perusahaan di Inggris dan Amerika Serikat seperti Gloster Aircraft Company dan Bell Aircraft Corporation membuat pesawat-pesawat yang ditenagai oleh motor turbin gas berdasarkan konsepsi Frank-Whittle.

Hanya beberapa orang yang penting dari sekian banyak penemu motor turbin gas yang tercatat disini, tetapi yang penting bahwa setiap orang tersebut bekerja berdasarkan pada hukum-hukum gerak dari Sir Isaac Newton.

B *Prinsip Motor Turbine Gas*

Suatu unit turbin gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen utama, yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin. Dalam unit ini energi kimia dari bahan bakar di rubah menjadi energi panas dan energi panas ini kemudian dirubah menjadi energi mekanis. Susunan dari unit gas dapat dilihat pada gambar .3

Udara atmosfir masuk ke dalam kompressor yang berfungsi mengisap dan menaikkan tekanan dan temperatur udara tersebut, hingga diperoleh perbandingan tekanan yang berkisar antara 2,5 sampai dengan 15,5 tetapi sangat tergantung kepada perencanaan unit turbin gas tersebut.Yang dimaksud dengan perbandingan tekanan (pressure ratio) adalah perbandingan tekanan absolut dari udara yang masuk kompressor.

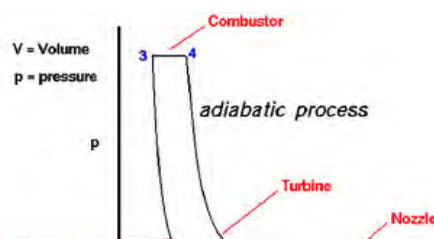
Udara bertekanan dari kompressor ini kemudian masuk ke dalam.ruang bakar (Combustor).

Dalam ruang bakar, bahan bakar di semprotkan kedalam udara bertekanan dan kemudian dinyalakan dengan suatu alat penyala (igniter) hingga terbakar. Kompressor dan ruang bakar menghasilkan zat kerja dengan eriergi yang tinggi, kemudian zat kerja tadi melakukan ekspansi dalam suatu turbin gas dan menghasilkan daya poros.

Yang dimaksudkan dengan zat kerja adalah zat yang dipergunakan untuk menghasilkan kerja pada turbin yaitu gas hasil pembakaran di dalam ruang bakar.

Jumlah udara yang di alirkan masuk ke dalam ruang bakar jauh lebih banyak dari pada yang diperlukan. Jumlah udara yang masuk ini 4sampai 10 kali lebih banyak dari pada yang diperlukan secara teoritis untuk suatu pembakaran agar supaya temperatur dari ruang bakar dan temperatur dari zat kerja yang keluar ini tidak terlalu tinggi.

1. *Proses keliling (Siklus) Brayton*

Sebuah motor turbin gas yang sederbana bekerjanya berdasarkan proses keliling Brayton (siklus Brayton). Proses keliling Brayton ini dapat digambarkan pada diagram P—V

Gambar 4. Proses keliling Brayton

Proses keliling Brayton ini terdiri dari proses-proses:

0—1Proses pemasukan udara

1—2 Proses kompresi udara secara isentropis dalam kompresor.

2—3 Proses pemasukan kalor sebesar Qm secara isobar (tekanan tetap) didalam ruang bakar.

3—4 Proses ekspansi secara isentropis di dalam turbin.

4 --1 Proses pembuangan kalor sebesar Qk" pada tekanan tetap (isobar).

Disamping itu, zat kerja dianggap sebagai gas ideal, dengan panas jenis Cp yang konstan dengan demikian :

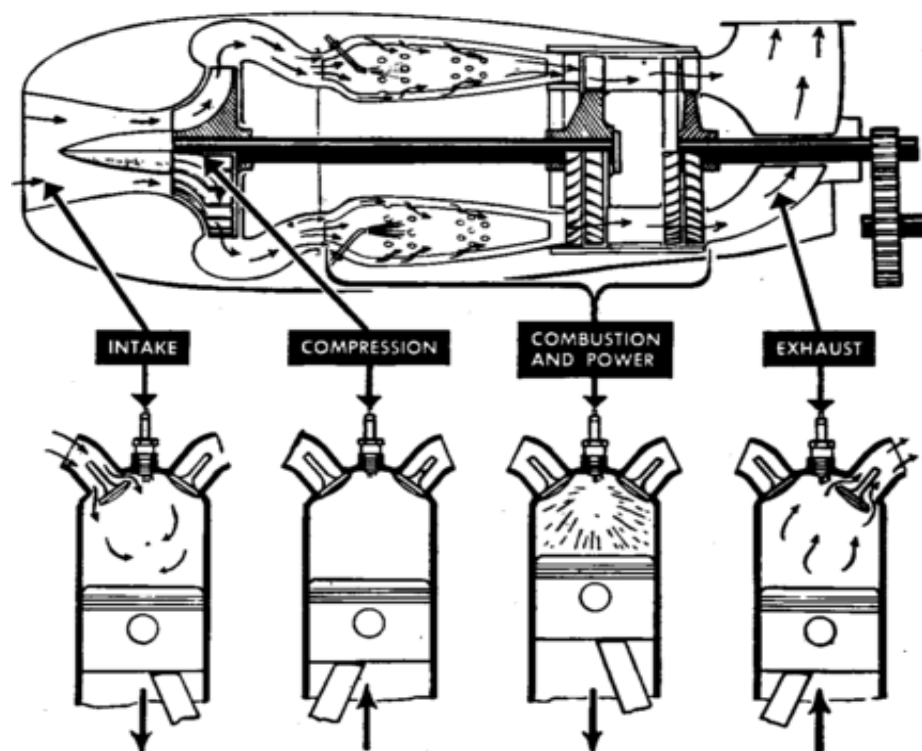
Qm = G.Cp(T3-T2) Dan Q_k= G.Cp(T4-T1)

dari diagram juga nampak bahwa $\frac{P2}{P1} = \frac{P3}{P4}$

2.Perbedaan Prinsif Kerja Motor Turbine dengan Motor Piston

Proses-proses yang berlangsung pada motor turbin gas sama saja dengan proses yang berlangsung pada motor piston (bensin), hanya tempat dimana terjadinya proses tersebut ada perbedaan.Dari gambar juga dapat dilihat perbedaan yang nyata yaitu, bahwa proses proses kompresi, pembakaran dan ekspansi pada sistem turbin gas berlangsung di dalam komponen yang berlainan, sedangkan pada motor bakar piston ketiga proses tersebut berlangsung didalam silinder.

Dari gambar -5 dapat dilihat bahwa terdapat kesamaan fungsi- fungsi yang dilakukan baik pada motor. piston maupun motor turbin gas yaitu pemasukan, kompresi pembakaran dan usaha yang diperoleh dari energi panas kemudian dirubah ke dalam bentuk energi mekanis (poros).

Keuntungan dari sistem turbin gas ini dibandingkan dengan motor piston adalah bahwa jenis bahan bakar yang dapat dipergunakan iebih luas, getaran-getaran lebih sedikit karena tidak ada unit yang bergerak bolak-balik, dan daya yang besar sampai dengan 200.000 hp. pada satu poros dapat diperoleh.

Gambar-5 Proses kerja motor turbojet dan motor piston

3.Proses Pembakaran

Proses Pembakaran terjadi secara kontinu, sehingga temperatur gas pembakaran harus dibatasi sesuai dengan kekuatan material sudu-sudu turbin nya. Hal tersebut dilaksnakan karena kekuatan material akan turun dengan naiknya temperatur.Tekanan di dalam ruang bakar berkisar antara 2,5 — 6 atm. atau bahkan lebih, sedangkan temperatur gas pembakaran keluar dari ruang bakar antara 500 — 1100°C, untuk membatasi temperatur keluar dari ruang bakar maka sistem turbin gas mempergunakan jumlah udara yang berlebihan. Perbandingan berat bahan bakar-udara untuk proses

pembakarankira-kira antara $f = \frac{1}{50} - \frac{1}{200}$, jadi sangat rendah bila dibandingkan dengan motor bakar torak. Pada gambar -6 dapat dilihat proses pembakaran di dalam ruang bakar. Udara dengan jumlah yang berlebihan berguna untuk :

a. Menyempurnakan proses pembakaran dalam waktu yang sesingkat-singkatnya.

b. Mendinginkan bagian- bagian dari ruang bakar.

c. Meratakan suhu gas pembakaran yang keluar dari ruang bakar dan agar gas pembakaran tadi menjadi homogen.

Gambar -.6 Proses pembakaran dalam ruang bakar

C MACAM-MACAM MOTOR TURBIN GAS

Semua motor turbin gas padadasarnya adalah sama, perbedaan antara satu dengan yang iainnya terletak pada metode dari tiap-tiap motor tersebut dalam cara merubah energi yang ada pada turbin menjadi gaya dorong yangberguna bagi pesawat terbang.

Dalam motor turbin gas ini terdapat tiga macam cara dalam merubah energi ,pada turbin menjadi gaya dorong, yang masing-masing akan menjadi tipe atau macam dari motor turbin gas tersebut. Macam -macam dari motor turbin gas tersebut adalah :

-Motor turbojet

-Motor tubopropeller(motor turboprop).

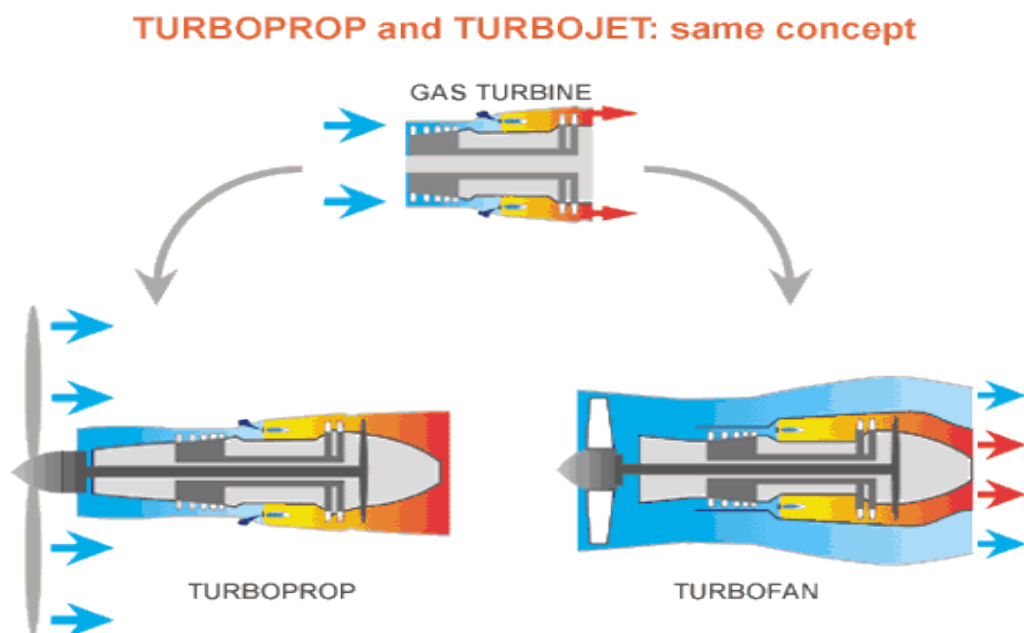
-Motor turbofan

-Motor turboshaft

Pada umumnya bentuk motor turbojet yang sering juga disebut dengan motor pure-jet adalah suatu motor dengan luas penampang pemasukan udara yang kecil sehingga aliran massa udara yang masuk ke dalam motor tersebut adalah relatip kecil dan agar diperoleh gaya dorong yang besar maka aliran gas keluar motor harus ber kecepatan yang tinggi.

Motor turbojet tersebut pada umumnya dipakai pada pesawat-pesawat terbang yang terbang tinggi diatas permukaan laut dan mempunyai kecepatan terbang yang tinggi pula.

Pada motor turboprop daya yang dihasilkan pada poros turbin dipakai untuk memutarkan baling-baling, dan agar supaya putaran baling-baling tidak terlalu tinggi dipergunakan roda-roda gigi reduksi.

Baling-baling menggerakkan sejumlah besar massa udara pada kecepatan rendah dimana arahnya berlawanan dengan arah terbang dari pesawat udara .

Gambar -7 Konsep yang sama antara turbojet, turboprop, turbofan.

Penggunaan dari motor turboprop ini adalah pada pesawai udara yang terbang tidak terlalu tinggi dan dimana diperlukan landasan yang pendek untuk mendarat.

Motor turbofan adalah suatu motor yang mempunyai perpaduan antara sifat sifat yang baik dari motor turbojet dengan motor turboprop, dimana pesawat terbang yang ditenagai oleh motor turbo fan ini akan menghasilkan prestasi yang lebih baik dari pada motor turbo prop pada waktu pesawat sedang terbang tinggi, demikian juga prestasi dari motor turbo fan ini akan lebih baik daripada motor turbojet pada waktu pesawat udara terbang rendah.

Motor turbojet memberikan percepatan udara yang tinggi terhadap berat udara yang kecil. Motor turboprop memberikan percepatan udara yang rendah terhadap beratudara yang besar, lihat gambar 7

c.1. Motor Turbojet.

Pada umumnya motor turbin gas mempunyai bagian-bagian utama sebagai berikut:

1.Bagian pemasukanudara (Air intake / air inlet duct)

2.Kompresor

3.Ruang bakar

4.Turbin

5.Saluran gas buang (Exhaust duct)

6.Alat-alat bantu (Accessories)

7.Sistem-sistem:

-sistem starting

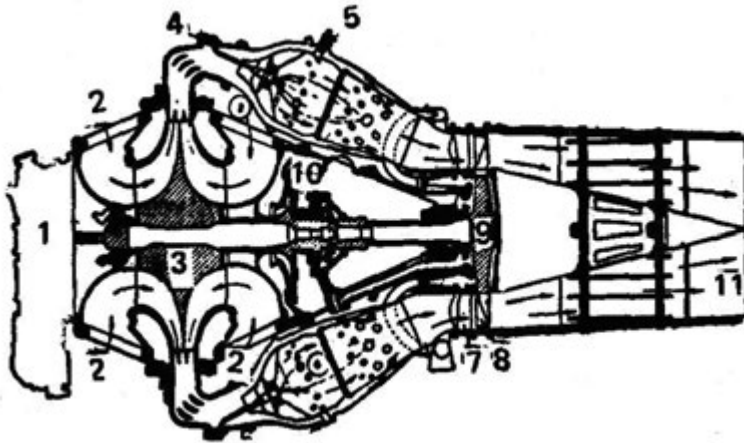
-sistem bahan bakar

-sistem pelumasan

-sistem anti es

-sistem pendinginan dll.

a)

b)

Gambar -8 a.) Single entry,single stage , b) Dowble entry single stage

Gambar -8. Turbojet single entry single stage Centrifugal kompresor dan dowble entry single stage centrifugal kompresor.

Keterangan gambar:

1. aksesori
2. saluran udara masuk

3. kompresor
4. pipa bahan bakar
5. alat penyala
6. ruang bakar
7. sudut pengarah
8. sudu turbin
9. roda turbin
10. kipas pendingin
11. energi panas.

Bagian-bagian yang utama ini pada semua motor turbin gas pada dasarnya adalah sama, hanya kadang-kadang nama dari bagian atau komponen agak berbeda karena adanya perbedaan terminologi dari masing-masing pembuat/pabrik dari motor tersebut.

Faktor terbesar yang mempengaruhi bentuk konstruksi dari setiap motor
turbin gas adalah tipe dari kompresor yang digunakan, yang ditentukan pada saat perencanaan.
Dari segi tipe kompresor yang digunakan tersebut, maka motor turbojet ini dapat dibagi menjadi dua macam yaitu :
1. Motor turbojet dengan Kompresor sentrifugal
2. Motor turbojet dengan kompresor aksial

c.1.1. Motor turbojet dengan kompresor sentrifugal

Suatu motor turbojet dengan kompresor sentrifugal dapat.dilihat pada gambar -8. Sesuai dengan namanya motor ini mempergunakan kompresor sentrifugal, yang berarti bahwa udara dimampatkan dengan gaya sentrifugal.

Pemasukan udara (Air intake) adalah merupakan saluran udara menuju ke kompresor, yang direncanakan sedemikian rupa sehingga udara yang diperlukan untuk motor dapat terpenuhi dalam semua kondisi penerbangan yang diinginkan. Setiap penyumbatan atau kerusakan pada saluran ini akan sangat mempengaruhi prestasi /kemampuan motor tersebut. Udara masuk dekat titik tengah impeler dari kompresor, kemudian udara tadi

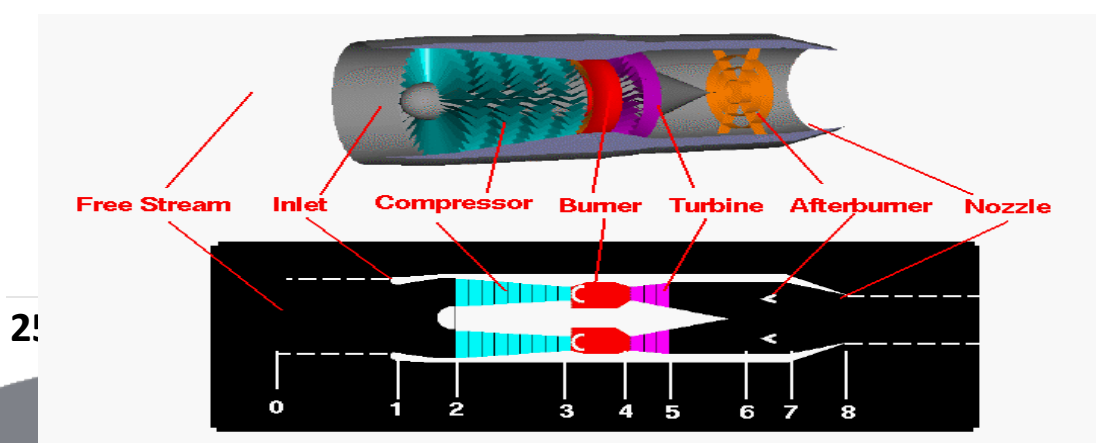
dilemparkan ke luar menuju alat difusi (diffuser) begitu kompresor mulai berputar. Kompresor direncanakan dan dibuat secara tepat dan dengan kesetimbangan yang sangat baik (balanced).

Alat difusi (diffuser) merubah energi kinetis udara yang meninggalkan kompresor menjadi energi potensial (tekanan) dengan cara merubah kecepatan menjadi tekanan. Udara

yang telah mempunyai energi potensial tadi di masukkan ke dalam ruang pembakaran, dimana ke dalam ruang bakar juga disemprotkan bahan bakar melalaui nosel bahan bakar, sehingga terjadilah penyalaan yang terus menerus. Kecepatan yang tinggi dari gas hasil pembakaran memasuki suatu nosel yang mengarahkan aliran gas itu sedemikian rupa sehingga roda turbin berputar dengan cepat sekali dan karena roda turbin mempunyai poros yang sama dengan kompresor maka kompresor juga turut berputar bilamana roda turbin berputar. Secara singkat cara kerjanya adalah, mula-mula motor starter menggerakkan kompresor dengan sendirinya turbin juga ikut berputar.

Setelah kompresor mempunyai kecepatan yang cukup untuk memberikan volume udara yang memadai ke dalam ruang bakar maka bahan bakar di semprotkan melalui nosel bahan bakar dan kemudian dinyalakan oleh alat penyala (igniter plug). Alat penyala ini hanya dipergunakan pada waktu penyalaan mula saja, selanjutnya bahan bakar dan udara didalam semua ruang bakar akan menyala secara terus menerus.

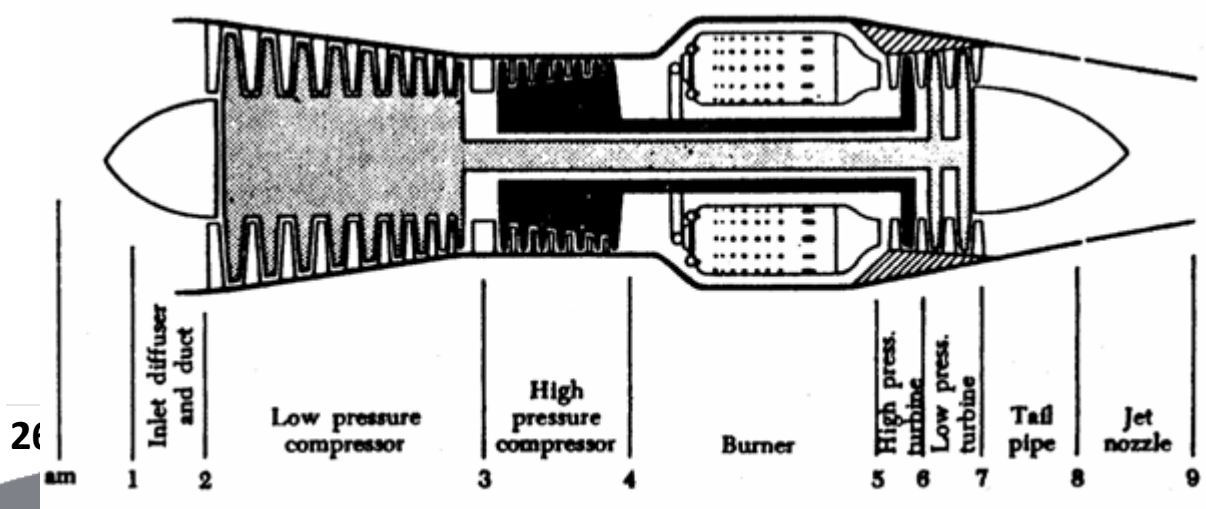
Motor turbojet pada kenyataannya hanya membakar sebagian kecil saja dari udara yang diberikan oleh kompresor.Aliran udara dengan volume yang cukup besar mengalir sekitar dan diluar nyala api dan berfungsi untuk menyempurnakan proses pembakaran dalam waktu yang sesingkat-singkatnya, mendinginkan bagian-bagian ruang bakar serta mengusahakan distribusi temperatur gas pembakaran

keluar ruang bakar yang homogen, sehingga sudu-sudu turbin tidak dikenai oleh tegangan termal yang cukup berarti.

Gambar -9 Motor turbojet dengan kompresor sentrifugal.

c.1.2 Motor turbojet dengan kompresor aksial

Pada motor turbojet yang mempergunakan kompresor aksial udara mengalir secara aksial yaitu kira-kira lurus atau sejajar dengan sumbu dari motor tersebut. Bentuk dari motor tersebut agak panjang (lihat gambar-9) bila dibandingkan dengan motor turbojet yang memakai kompresor centrifugal. Pada gambar -9 nampak kompresor aksial beberapa tingkat. Prinsip kerja dari motor turbojet dengan kompresor aksial ini sama saja dengan motor turbojet dengan kompresor sentrifugal namun motor turbojet dengan aliran aksial ini mempunyai beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan motor turbojet dengan aliran radial (sentrifugal), yang antara lain adalah :

1) Udara mengalir dengan jalan yang hampir lurus melalui motor, sehingga energi yang hilang untuk merubah arah aliran akan berkurang.

2) Perbandingan tekanan udara sesudah keluar kompresor dengan sebelum kompresor (pressure ratio) akan lebih besar, karena kompresor dapat dibuat bertingkat banyak sesuai dengan kehendak para perencana.
3) Penampang dari motor dapat dibuat lebih kecil, untuk kebutuhan volume udara yang sama. Disini starter dihubungkan dengan kompresor tekanan tinggi, tujuannya adalah untuk memperoleh beban yang ringan pada waktu start.

Gambar -10. Motor turbojet dengan kompresor aksial ganda.

c.2. Motor Turbo Propeller (Turboprop)

Pesawat terbang yang ditenagai dengan motor turboprop saat ini mempunyai pasaran yang cukup luas, baik untuk keperluan penerbangan umum maupun untuk kepentingan perusahaan tertentu, hal ini dikarenakan sifat-sifatnya yang khusus.

Prinsip kerja dari motor turboprop ini sama saja dengan motor turbojet yaitu bahwa udara yang dimampatkan di dalam kompresor masuk ke dalam ruang bakar dan kemudian dibakar bersama bahan bakar yang disemprotkan sehingga menghasilkan gas hasil pembakaran dan selanjutnya melakukan ekspansi pada turbin. Untuk motor turboprop ini pada umumnya diperlukan beberapa tingkat turbin agar energi dari gas panas yang metalui turbin ini dapat diserap lebih banyak untuk menggerakkan baling- dimana baling-baling diharapkan dapat menghasilkan kurang lebih 90% dari gaya dorong total, dan meninggalkan gas buang yang hanya akan menghasilkan 10% gaya dorong netto.

Dari segi tipe kompresor yang dipergunakan, maka motor turboprop dibagi menjadi dua macam juga yaitu:

1.Motor turboprop dengan kompresor sentrifugal

2.Motor turboprop dengan kompresor aksial

c.2.1. Motor Turboprop Dengan Kompresor Sentrifugal

Pada umumnya pemakaian dari kompresor sentrifugal dibatasi pada motor turboprop yang dayanya kecil. Banyak sekali motor yang memakai kompresor sentrifugal ini yang antara lain adalah :

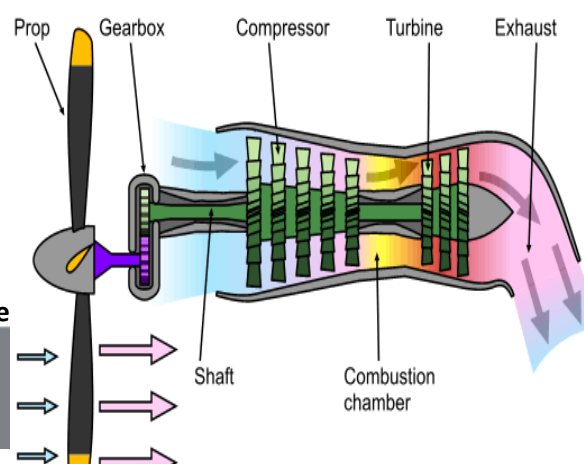
1. Motor turboprop TPE 331, buatan Garrett AiResearch Manufacturing Company of Arizona USA.
2. Motor turboprop Rolls Royce Dart mo/1.528, Inggris.

Beberapa contoh daripada pesawat terbang yang memakai motor turboprop TPE 331 ini adalah :

- Rockwell Commander 690
- Beech B 100
- Short Brothers Skyvan
- Fairchild Porter
- CASA212

Pesawat terbang C—212 Aviocar yang diproduksi oleh CASA Spanyol mempergunakan motor TPE 331-2, -3, -5 dan -10, sedangkan motor turboprop TPE 331 menggunakan bagian pemasukan tunggal (single entry), dua tingkat kompresor sentrirugal, tiga tingkat turbin dan satu ruang bakar bentuk annular. Kompresor dan turbin berputar pada poros yang sama.

c.2.2 Motor turboprop dengan kompresor aksial.

Prinsip kerja dari motor turboprop, dengan kompresor aksial ini sama saja dengan motor turbojet dengan kompresor aksial. Bilamana perbandingan tekanan (pressure ratio) yang lebih tinggi diperlukan misalnya diatas 15:1 maka kompresor dengan dua spool diperlukan, karena dengan satu spool sudah tidak efisien lagi.Gambar -11 Motor turboprop kompresor axial. Motor turboprop dengan kompresor aksial dua spool, kompresor semacam ini dapat memberikan perbandingan tekanan yang lebih-tinggi sedangkan efisiensi dari kompresor tetap tinggi. Kenyataan menunjukkan bahwa untuk aliran massa udara dan perbandingan tekanan yang sama kompresor aksial dengan dua spool lebih ringandari kompresor dengan satu spool. Keuntungan lainnya adalah bahwa untuk sistem starternya lebih ringan karena yang diputarkan oleh starter adalah kompresor tekanan tinggi saja, sedangkan kompresor tekanan rendah akan berputar kemudian pada suatu putaran tertentu.

Gambar -11, Motor turboprop dengan kompresor aksial.

c.3 Motor Turbo Fan

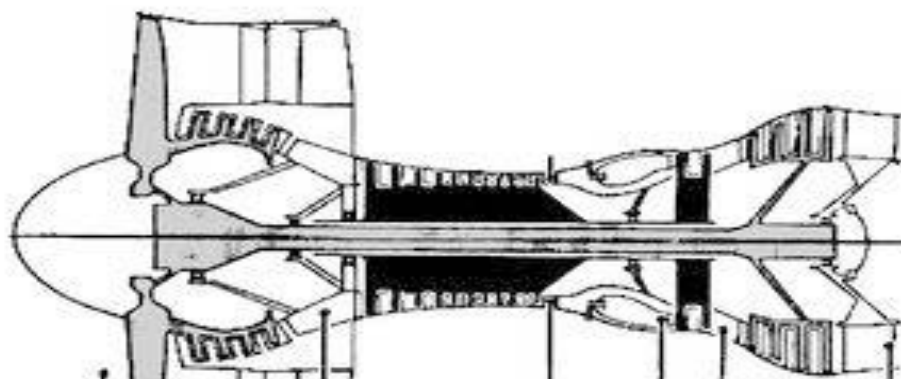
Motor turbofan merupakan perpaduan sifat-sifat yang baik dari motor turbojet dan motor turboprop. Pada motor turbofan walaupun kecepatan pancaran gas yang keluar dari saluran buang lebih rendah dari motor tubpjet, tetapi bisa diperoleh gaya dorong yang sama karena jumlah massa aliran udara/gas lebih besar melalui motor turbofan tersebut. Dengan aliran massa udara yang lebih besar tetapi dengan kecepatan yang lebih rendah, maka motor turbofan akan memperoleh randemen gaya dorong yang lebih tinggi dari motor turbojet. Konstruksi dari motor turbofan ini pada umumnya ada dua macam yaitu :

1.Motor turbofan dengan fan di depan

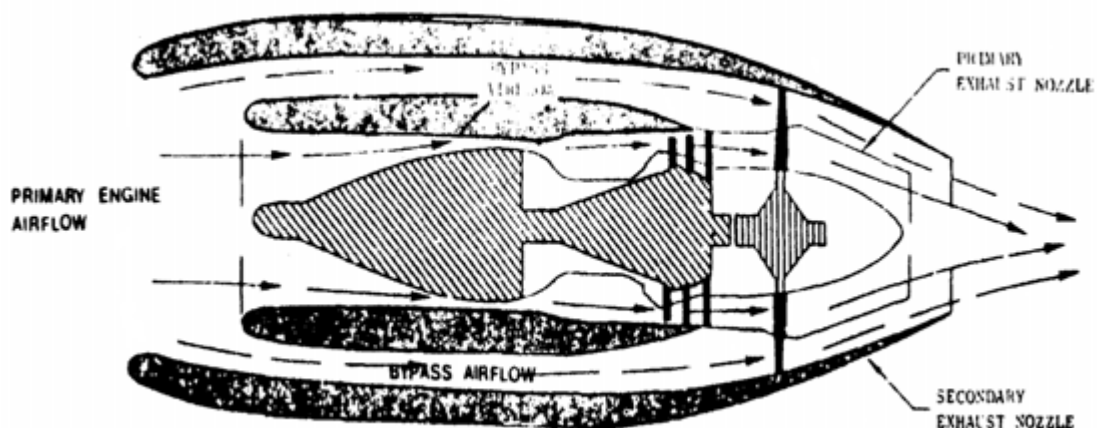
2. Motor turbofan dengan fan di belakang

c.3.1. Motor turbofan dengan fan di depan.

Pada konstruksi motor ini fan ditaruh didepan (lihat gambar -12), sebagian udara yang dipercepat oleh fan masuk ke dalam kompresor yang dengan sendirinya akan menaikkan perbandingan tekanan (pressure ratio), kemudian udara tersebut masuk ke dalam ruang bakar dan dibakar bersama-.sama bahan bakar.

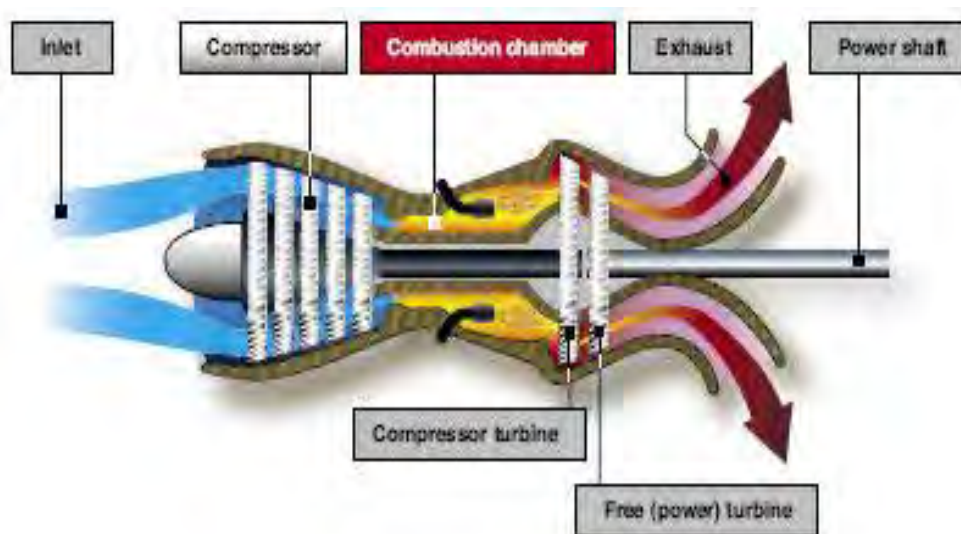
Sebagian dari udara yang dipercepat oleh fan tadi melewati bagian luar dari ruang bakar, dimana akhirnya disaluran buang (nosel buang) bergabung dengan gas panas hasil pembakaran dan percampuran ini akan mengakibatkan kecepatan pancaran gas menjadi berkurang dan sebagai akibatnya akan memperbesar randemen gaya dorong

Gambar-12 Turbofan , fan di depan

c.3.2. Motor turbofan dengan fan di belakang.

Pada konstruksi motor ini fan ditaruh setelah ruang bakar (lihat gambar .13). Udara yang dipercepat oleh fan bergabung langsung pada saluran buang (nosel pembuangan) dengan gas hasil pembakaran dimana dengan demikian dapat mengurangi kecepatan pancaran gas dan sebagai akibatnya juga akan memperbesar randemen gaya dorong.Dari hal-hal yang tersebut diatas pemakaian bahan bakar pada motor turbofan akan lebih hemat bila dibandingkan dengan motor turbojet untuk pesawat-pesawat dengan kecepatan sedang.

Gambar .13 Turbofan, fan dibelakang.

c.4. Motor Turboshaft

Sebuah turboshaft mirip dengan mesin turboprop, yang berbeda terutama dalam fungsi poros turbin. Dalam motor turboshaft, poros turbin terhubung ke sistem transmisi yang mendorong baling-baling helikopter, generator listrik, kompresor dan pompa, dan sebagai propulsi kelautan bagi kapal-kapal angkatan laut, kapal kargo, kapal penumpangberkecepatan tinggi, hydrofoils dan kapal lainnya.. Mesinturboshaftdirancang sedemikian rupa sehinggakecepatanrotor helikoptertidak tergantung padakecepatan putardarigeneratorgas. Hal ini memungkinkankecepatanrotorharus dijagakonstanbahkan ketikakecepatangeneratorbervariasiuntuk memodulasijumlahlistrik yang dihasilkan.

Turboshafttersebut memberikantenaga untukporosyang menggerakkansesuatu selainbaling-baling. Perbedaan terbesarantaramotor turbojetdanmotor turboshaftadalah bahwa padamesinturboshaft, sebagian besardarienergi yang dihasilkanoleheksp ansi gasdigunakan untuk menggerakkanturbindaripadamenghasilkan daya dorong. Banyakhelikoptermenggunakanmesinturbingasturboshaft. Selain itu, mesinturboshaftbanyak digunakan sebagaiunit daya tambahanpadapesawat besar.

Gambar 14. Motor Turboshaft

D PEMAKAIAN BAHAN BAKAR SPESIFIK

Pemakaian bahan bakar spesifik (specific fuel consumption) untuk motor pesawat terbang diberi notasi "sfc". Untuk motor piston maupun untuk motor turboprop, yang dimaksud dengan sfc adalah beratnya bahan bakar yang dihakar setiap jam untuk menghasilkan satu tenaga kuda daya poros. Pemakaian bahan bakar, spesifik ini dapat ditulis sehagai berikut:

$$\text{sfc} = \frac{Gbb/\,jam}{shp} = \frac{lbs.bb/\,jam}{shp}$$

dimana:

G = berat bahan bakar yang terbakar, lb

shp= Daya poros atau daya efektip dalam hp atau daya yang berguna untuk menggerakkan

beban (= baling baling)

Untuk motor turbojet pemakaian bahan bakar per jam tidak dibagi dengan N_e (s h p) untuk mendapatkan sfc-nya tetapi dibagi dengan lb. gaya dorong (lb. thrust), sehingga untuk motor turbojet dikenal dengan istilah thrust specific fuel consumption (tsfc).

$$\text{Jadi tsfc} = \frac{Gbb/\,jam}{lb.gaya.dorong}$$

Satuan dari tsfc ini adalah lbs. bb./lb. gaya dorong atau disingkat lbs./lb./jam.

contoh : ,

Hitunglah pemakaian bahan bakar dari suatu motor turboprop yang metighasilkan 5000 hp daya poros, dimana pemakaian bahan bakar spesifiknya adalah 0,45.

Jawab :

Pemakaian bahan bakar spesifik = 0,45 lbs. bb./shp/jam, ini berarti bahwa motor turboprop tadi membutuhkan 0,45 lbs. bahan bakar per jam untuk memperoleh daya

poros satu tenaga kuda (1 hp,). Untuk memperoleh 5000 tenaga kuda daya poros maka pemakaian bahan bakarnya adalah = 0,45 x 5000 = 2250 Jb.bb/jam.

E Gaya dorong (Thrust)

Pada saat pesawat terbang lurus dan mendatar, thrust sama besarnya dengan drag tapi berlawanan arah.Thrust atau gaya dorong ini dihasilkan oleh engine untuk mendorong pesawat terbang. Semua engine mempunyai kemampuan untuk merobah energi panas menjadi energi mekanik.Pada pesawat terbang, thrust yang dihasilkan merupakan aplikasi dari hukum ke 2 dan ke 3 Newton.

Sir Isac Newton 1686 menyatakan bahwa:

Setiap benda yang diam akan tetap diam atau setiap benda bergerak akan tetap bergerak kecuali ada gaya luar yang mempengaruhinya' (hukum ke 1 Newton).

Gaya dorong adalah sama dengan perubahan momentum per waktu (hukum ke2 Newton).

Jika massa konstan, maka gaya dorong sama dengan massa kali percepatan

F=m.a

Dimana: m=massa gas

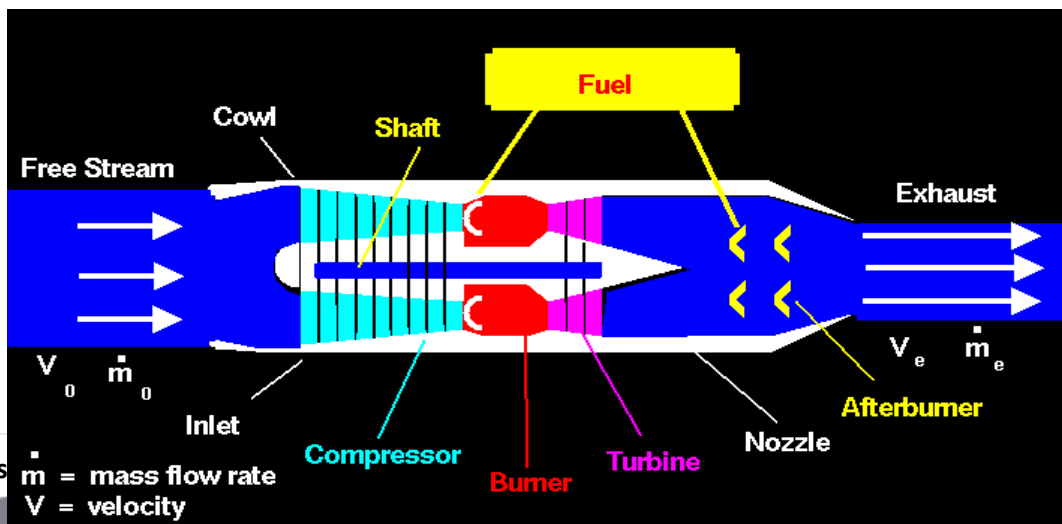
a =percepatan

=Ve-Vo

Ve=exhaust velocity

Vo= inlet velocity

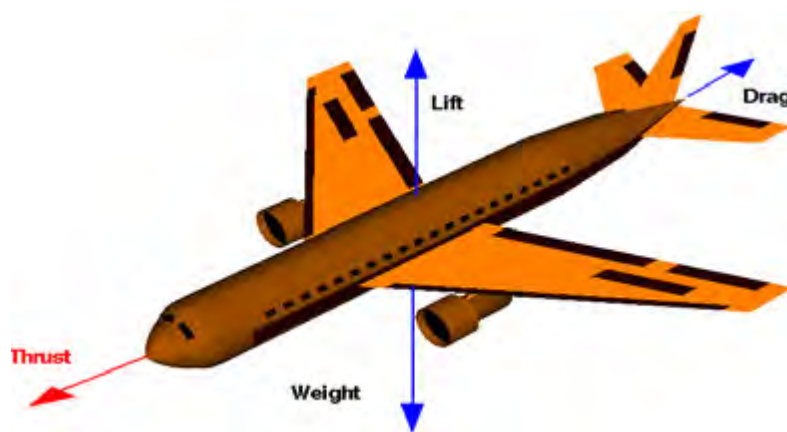
F=m(Ve-Vo)

Setiap ada aksi maka timbul reaksi yang sama besarnya akan tetapi berlawanan arah (hukum ke 3 Newton)

Gambar .15. Thrust pada turbojet

Motor dengan sumber tenaga dari panas yang diubah menjadi tenaga mekanis atau pancaran gas yang diubah menjadi tenaga kinetik merupakan motor yang dipakai untuk menggerakkan pesawat terbang. Bila suatu masa udara dipanaskan, maka gas tersebut mengembang, temperaturnya akan naik. Dengan demikian, tekanan dan kecepatan dari gas juga akan naik. Kenaikan tekanan dan kecepatan dapat dimanfaatkan sebagai gaya untuk menggerakkan blade turbine, bagian lain dari motor atau disemburkan ke atmosfir melalui pancaran gas.

Dari hukum ke 2 newton dapat dinyatakan bahwa cara cara untuk memperbesar gaya dorong adalah memperbesar massa udara dan memperbesar percepatan gas. Untuk menghasilkan gaya dorong yang besar, maka di desain beberapa jenis engine sebagai penggerak pesawat udara.

Turbo propeller dan Turbo Fan dengan high by pass ratio menghasilkan thrust yang besar karena massa gas yang diproses sangat besar, sementara selisih kecepatan gas keluar dan gas masuk relatif kecil.

Turbo jet dan Turbo jet memakai after burner dan roketmenghasilkan thrust yang besar karena selisih kecepatan gas keluar dengan gas masuk sangat tinggi, sementara massa gas yang diproses relatif kecil.

Gambar 16.Gaya dorong olehmotor

Agar pesawat dapat terbang di udara,maka engine harus menghasilkan thrust untuk mendorong pesawat terbang.Untuk piston engine/ propeller daya motor diukur dalam Brake Horse power sementara Gas Turbin Engine diukur dalam pound thrust .Thrust yang dihasilkan oleh baling baling dapat dibuat hubungan melalui rumus :

Thrust baling baling= (BHP/V) x effisiensi baling-baling

Thrust baling baling=gaya dorong yang dihasilkan baling-baling

BHP =daya motor efeektif (Brake Horse Power)

V =Kecepatan terbang(velocity)

Jika diperlukan, thrust yang dihasilkan gas turbine engine dapat dikonversidalam satuan thrust horse power(t.hp).

t.hp= thrust x aircraft speed (m.p.h) / 375 lb.mile per jam

1 hp = 375 lb mile per jam

Jika gas turbin engine menghasilkan thrust 4000 lb dan pesawat terbang pada kecepatan 500 m.p.h, maka

t.h.p= 4000 lbx500 m.p.h /33.000 lb.mph

t.h.p=6,666

Pesawat terbang dioperasikan pada power yang relatif besar untuk memperoleh lift yang cukup untuk terbang. Pada saat pesawat takeoff power motor dibuat maksimal tapi waktunya dibatasi, dan hampir tidak pernah lebih dari 2 menit, dan setelah pesawat mengudara, power dikurangi saat climbing. Setelah climbing power dapat dikurangi lagi apabila pesawat telah mencapai ketinggian yang dianggap ideal untuk melakukan crusing dalam penerbamgan tersebut.

Apabila berat tiap brake horse power(disebut spesific weight) suatu engine dapat dikurangi, maka beban yang dapat dibawa pesawat makin tinggi dan engine performabce makin besar. Melalui kemajuan teknologi dalam pengolahan bahan dan

desain piston engine pesawat terbang, setiap pengurangan berat 1 lb, power motor dapat dikurangi sebesar 1 hp

Persyaratan Motor Pesawat Udara

Persyaratan yang harus dimiliki suatu motor pesawat udara adalah sebagi berikut:

a .Ekonomis.

Ekonomis dalam perawatan, dan ekonomis dalam pemakaian bahan bakar. Ekonomis dalam pemakaian bahan bakar dapat di lihat dari spesific fuel consumption yang rendah dari engine tersebut.

Spesific fuel consumption untuk turbo jet dan ramjet adalah perbandingan antara fuel flow (lb/jam) dengan thrust(lb) dan untuk piston engine, perbandingan antara fuel flow (lb/jam) dengan brake horse power. Masing masing disebut" thrust spesific fuel consumption" dan "brake spesific fuel consumption".Untuk turbo prop, erbandingan antara fuel flow(lb/jam) dengan equivalent shaft horse power disebut"Equivalent spesific fuel consumption". Pada kecepatan rendah, piston engine dan turbo propeller lebih efisien dari pada turbo jet, sementara pada kecepatan tinggi turbo jet lebih efisien.

b Power weight ratio tinggi atau weight power ratio rendah.

Power yang besar sementara berat ringan adalah faktor penting untuk menentukan performance suatu engine

c Keandalan (Reliability)

Motor harus dapat diandalkan (reliable), yaitu apabila motor dirawat diperrlakukan sesuai dengan apa yang dilakukan oleh pabrik pembuat motor tersebut dan tidak

menyimpang dari peraturan-peraturan keselamatan kerja; tidak akan gagal atau mudah rusak karena dilakukan pemeriksaan-pemeriksaan dan perawatan dengan sebaik-baiknya dan dilakukan oleh tenaga pelaksanaan yang berpengalaman; motor akan mempunyai umur yang panjang dan waktu antara pemerksaan (time between overhaul) yang semaksimal mungkin, menggunakan bahan bakar yang sehemat mungkin pada waktu terbang dengan kecepatan jelajah (cruising speed); semua bagian perlengkapan mempunyai batas waktu pakai yang panjang (lama), harganya murah, dan mudah dan cepat dalam pelaksanaan pembongkaran dan pemasangannya bila waktu pakainya habis.

d.Ketangguhan (Flexibility)

Motor harus tangguh (flexible), yaitu kondisi motor yang mampu berkerja tetap baik dengan halus pada segala putaran motor,dari putaran yang paling rendah sampai putaran yang maksimum dengan tenaga penuh, serta kondisi atmosfir yang berbeda-beda.

e.Keseimbangan (Balance)

Motor disebut seimbang (balanced), apabila bebas dari getaran. Motor yang ringan dan lentur akan menimbulkan getaran yang dapat mengurangi umur bagian-bagian atau unit-unit dari pesawat terbang dan mungkin dapat menghabiskan sama sekali umur pesawat terbang seluruhnya.

Pipa-pipa, kabel-kabel, instrumen-instrumen, dan perlengkapan lainnya akan menjadi rusak yang akhirnya fungsinya menjadi lemah, karena getaran motor yang berlebihan. Salah satu cara untuk mengurangi getaran motor ialah merancang motor dengan silinder yang banyak. Maksudnya goncangan dan puntiran yang dihasilkan oleh motor dapat disalurkan ke silinder-silider yang lain. Sedangkan goncangan-goncangan yang timbul oleh putaran poros engkoldapat diimbangi dengan memasang bobot kontra (counter weight).

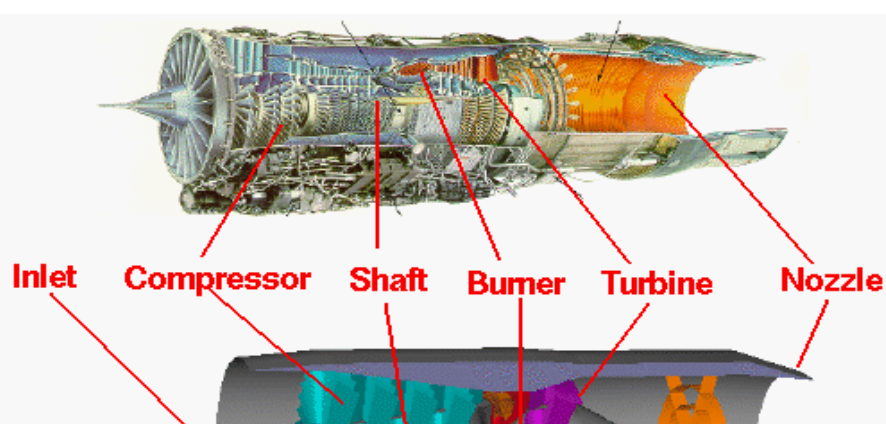
G Rangkuman

Motor turbin gas adalah suatu unit untuk merubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dan kemudian dirubah menjadi energi mekanis. Bagian-bagian utama terdiri dari kompressor, ruang bakar dan turbin. Kompresor berfungsi mengisap dan menaikkan tekanan udara atmosfir yahg masuk kedalamnya, dimana temperatur udara tersebut juga naik. Kemudian udara tadi yang bertekanan dari bertemperatur tinggi masuk kedalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar disemprotkan bahan bakar ke dalam arus adara tersebut sehingga terjadi proses pembakaran. Proses pembakaran tersebut akan menghasilkan gas pembakaran yang mempunyai energi yang tinggi yang disebut zat kerja, karena gas ini akan melakukan kerja (ekspansi) pada turbin yang akan menghasilkan daya poros.

Jumlah udara yang dimasukkan ke dalam ruang bakar ini jauh lebih banyak daripada yahg diperlukan untuk pembakaran, dimana tujuannya antara lain adalah untuk :

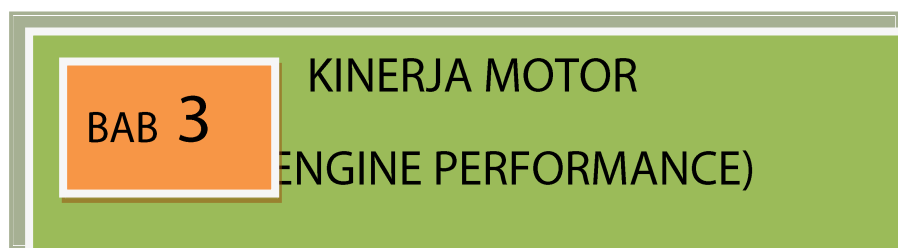
1) Membuat lapisan-lapisan (Films) udara pada permukaan dinding-dinding bagjan dalam ruang bakar hingga dapat mengurangi perpindahan panas ke dinding tersebut.
2) Mengencerkan gas-gas hasil pembakaran oleh udara tadi sehingga akan menurunkan temperatur zat kerja yang akan mengenai turbin.

Perbedaan yang nyata dari motor turbin gas dengan motor piston adalah bahwa proses-proses kompresi, pembakaran dan ekspansi, pada motor turbin gas berlangsung didalam komponen yang berlainan, sedangkan pada motor piston ketiga proses tersebut berlangsung didalam satu tempat (silinder). Dilihat dari cara untuk mendapatkan gaya dorong, maka motor turbin gas dapat dibagi menjadi empat macam yaitu :

1. Motor turbojet
2. Motor turboprop
3. Motor turbofan
4. Motor turboshaft

Gambar .16 Bagian utama turbin gas.

Pada motor tubojet aliran -massa udara yang masuk ke dalam motor adalah relatip kecil dan agar dapat diperoleh gaya dorong yang besar maka aliran gas yang keluar dari motor haruslah dengan suatu kecepatan yang tinggi.

Bagian-bagian utama dari semua motor turbin gas pada dasarnya adalah sama, hanya kadang-kadang nama dari bagian-atau komponen agak berbeda karena adanya perbedaan terminologi dari masing-masing pembuat motor tersebut.

Dari segi tipe kompresor yang dipergunakan, motor turbin gas dapat dibagi menjadi dua macam yaitu :

1.Motor turbin gas dengan aliran sentrifugal

2.Motor turbin gas dengan aliran aksial.

Motor turbofan bila dibandingkan dengan motor turbojet akan mempunyai randemen gaya dorong yang lebih besar dan pemakaian bahan bakarnya lebih hemat karena aliran massa udaranya lebih besar tetapi dengan kecepatan yang lebih rendah.

Pemakaian bahan bakar spesifik untuk motor turboprop adalah beratnya bahan bakar yang dibakar setiap jam untuk menghasilkan satu tenaga kuda daya poros, sedangkan untuk motor turbojet, dan motor turbofan pemakaian bahan bakar spesifik ini adalah beratnya bahan bakar yang dibakar setiap jam untuk menghasilkan satu pound gaya dorong.

Pertanyaan

1. Terangkan prinsip kerja motorturbin gas.

2. Apakah yang dimaksud dengan randemen termis dari motor turbin gas ?

3. Sebutkan perbedaan prinsip antara motor turbin gas denganmotor piston.!

4. Terangkan cara kerja dari motor tubojet yang dilengkapi dengan kompresor sentrifugal !

5. Jelaskan cara kerja darikompresordengan aliran aksial !

6. Sebutkan macam-macam motor turbin gas!

7. Sebutkan kelebihan dan kekurangan motor turboprop bila dibandingkan dengan motor turbojet !.

8. Sebutkan keuntungan-keuntungan motor turbofan bila dibandingkan dengan motor turbojet !.

9 .Apakah yarig dimaksud dengan pemakaian bahan bakar spesifik untuk motor turboprop ?

10. Terangkan perbedaan dari siklus Otto dan siklus Brayton.!

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa kemampuan suatu engine diukur dari thrust yang dihasilkan oleh turbo jet dan shaft horse power (s.h.p) yang dihasilkan propeller

pada turbo propeller.

Besar kecilnya thrust atau s.h.p tersebut ditentukan oleh faktor berat bahan bakar yang dibakar dan frontal area dari propelling nozzle. Akan tetapi selain berat bahan bakar dan frontal area, faktor: kecepatan pesawat, ketinggian dan cuaca juga sangat mempengaruhi thrust atau power motor. Keberadaan after burner juga dapat memperbesar thrust yang dihasilkan engine. Selain itu perbandingan kompressi juga mempengaruhi efisiensi panas. Dikatakan suatu engine sangat ekonomis apabila perbandingan antara thrust yang dihasilkan dengan berat engine adalah maksimum atau spesific fuel consumtion serendah mungkin. Spesific fuel consumption adalah perbandingan antara massa fuel tiap jam yang dihabiskan dengan thrust (lb) atau s.h.p.yang dihasilkan.

Efisiensi panas identik dengan efisiensi dalam engine, sementara efisiensi gaya dorong identik dengan efisiensi luar. Dari beberapa pengujian diperoleh bahwa turbo jet engine kurang efisien dibandingkan turbo
prop jika kecepatan dibawah 450 mile/jam. Bahkan pesawat turbo fan sekarang ini lebih dikembangkan lagi karena turbo fan diketahui dapat mengatasi kelemahan turbo prop dan turbo jet.

Efisiensi panas dan efisiensi gaya dorong juga dipengaruhi oleh ukuran kompresor dan turbin dan juga berat dan diameter kedua komponen tersebut.

A Gaya dorong (Thrust)

Gaya dorong yang dihasilkan pesawat terbang saat terbang sangat berbeda dengan thrust yang dihasilkan saat pengetesan didarat. Pada saat pengetesan di darat thrust yang dihasilkan oleh massa udara yang lewat engine dan semburan gas melalui propelling nozzle, sementara saat terbang thrust diperoleh dari massa udara yang lewat engine dan semburan gas dikurangi kecepatan maju pesawat terbang.

Thrust yang dihasilkan saat dilakukan pengetesan di darat diperoleh sbb:

$$Fg = \frac{W}{g} xVj$$

Dimana

Fg= gross thrust (gaya dorong kasar), lb

W=berat udara masuk, lbs/det

Vj = kecepatan pancaran gas, ft/det

g = grafitasi, ft/det^2

Gaya dorong kasar adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh kecepatan dari pancaran gas (jet), belum memperhitungkan kecepatan udara memasuki motor yang mana akan menimbulkan hambatan momentum akibat pemasukan (intake momentum drag).

$$Fn = Fg - Fr$$

Dimana:Fn = gaya dorong netto (gaya dorong bersih)

Fr = Gaya dorong "ram" (intakemomentum)

Jika ada perbedaan antara tekanan gas dalam nozzle dengan tekanan udara diluar nozzle, ini juga memperbesar gaya dorong, sehingga gros thrust menjadi:

$$Fg = (P - Po)A + \frac{W}{g}Vj$$

Dimana

P=Tekanan statis dalam nozzle, lb/in^2

Po=Tekanan di atmosfir, lb/in^2

A=Luas permukaan nozzle,in^2

Dari rumus diatas dapat dipahami bahwa cara memperbesar thrust adalah menambah massa udara dengan memakai water injection atau memperbesar Vj dengan memakai afterburner.

Disini dianggap bahwa aliran massa udara yang masuk motor sama dengan massa gas yang keluar dari motor pesawat terbang. Sebenarnya bahan bakar ditambahkan

kepada aliran udara yang kira kira 1/16 bagiannya, tetapi ini akhirnya juga kira kira seimbang dengan adanya bocoran atau udara yang diambil untuk kegunaan lain dari kompresor.

Jika Vi= kecepatan aliran udara memasuki motor, maka:

$$Fr = \frac{W.Vi}{g}$$

Jika perbedaan tekanan antara di dalam dan di luar nozzle diabaikan, maka dapat ditulis rumus:

$$Fn = \frac{W.Vj - W.Vi}{g} \text{ ,lb}$$

$$Fn = \frac{W}{g}(Vj - Vi)$$

Inilah yang biasanya dipakai untuk menghitung besarnya gaya dorong. Bila Fr dibandingkan dengan Fg akan diperoleh:

$$Fr = Fg\left(\frac{Vi}{Vj}\right) = Fg \frac{(Vpesawat)}{Vgaspancaran}$$

B Randemen Gaya dorong pesawat (propulsive efficiency)

Yang dimaksud dengan randemen gaya dorong adalah perbandingan antara energi yang diserap oleh pesawat terbang dengan energi yang diperlukan untuk mempercepat aliran udara / gas. Dari gambar (17 dan 18) dapat dilihat bahwa:

Gaya dorong $= \frac{W}{g}(V2\text{-}V1)$

Energi kinetis zat kerja saat masuk

$$= \frac{W}{2g}(V1)^2$$

Energi kinetis zat kerja saat keluar

$$\frac{W}{2g} = (V2)^2$$

Dimana

V1=kecepatan pesawat terbang yang
dianggap sama dengan kecepatan zat
kerja masuk

V2= kecepata keluar zat kerja relative terhadap pesawat

Energi yang diserap oleh pesawat:

$$\frac{W}{g}(V2\text{-}V1) \times V1$$

Kenaikan energi kinetis zat kerja :

$$= \frac{W}{2g}(V2^2) - \frac{W}{2g}(V1)^2$$

$$\eta = \frac{W}{2g}(V2^2 - V1)^2$$

Sehingga randemen gaya dorong (ηp) baik untuk motor baling baling maupun untuk motor turbo jet adalah sbb:

$$\eta p = \frac{2V1}{V2 + V1}$$

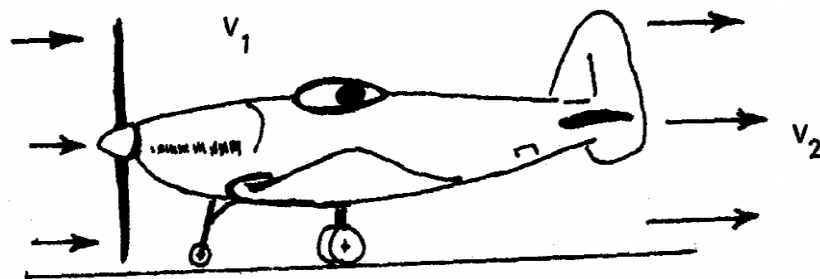
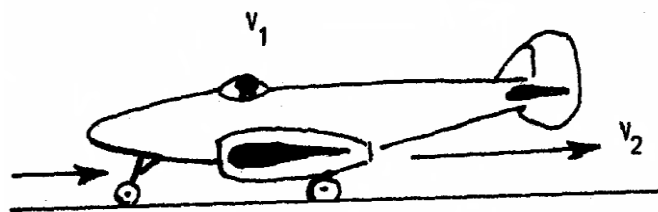
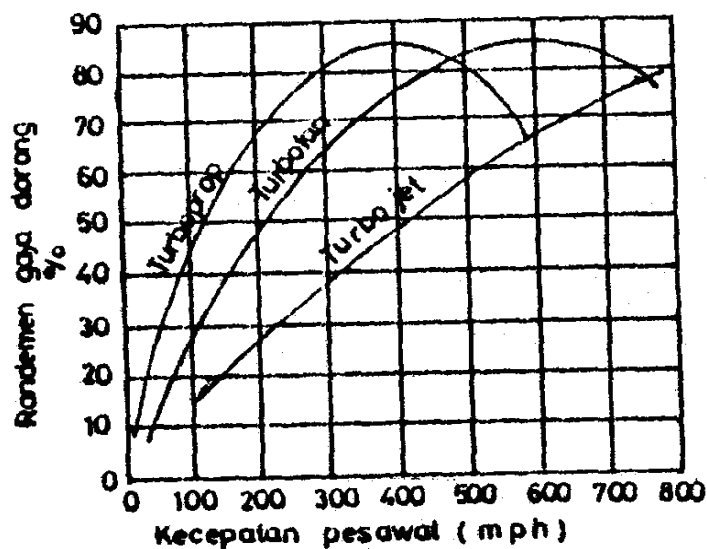
Randemen gaya dorong mencapai 100% apabila kecepatan keluar dari zat kerja sama dengan kecepatan masuknya (kecepatan pesawat), akan tetapi hal ini tidak mungkin terjadi, karena bila V2=V1 maka gaya dorong adalah nol. Randemen tersebut akan tinggi bila kecepatan gas keluar lebih tingggi dari kecepatan pesawat terbang. Pada turbo jet mungkin saja diperoleh kecepatan gas keluar yang tinggi, namun gaya dorong rendah karena massa aliran udaranya kecil, karena ukuran motor yang terbatas. Sementara pada motor baling baling, massa aliran udaranya sangat besar karena ukuran baling baling yang besar walaupun kecepatan rendah akan menghasilkan gaya dorong yang besar.Jadi buat motor pesawat yang memakai baling baling randemen gaya dorong maupun gaya dorong yang tinggi adalah mungkin pada kecepatan pesawat yang rendah, sedangkan hal itu tidak terjadi pada turbojet, (perhatikan gambar 19)

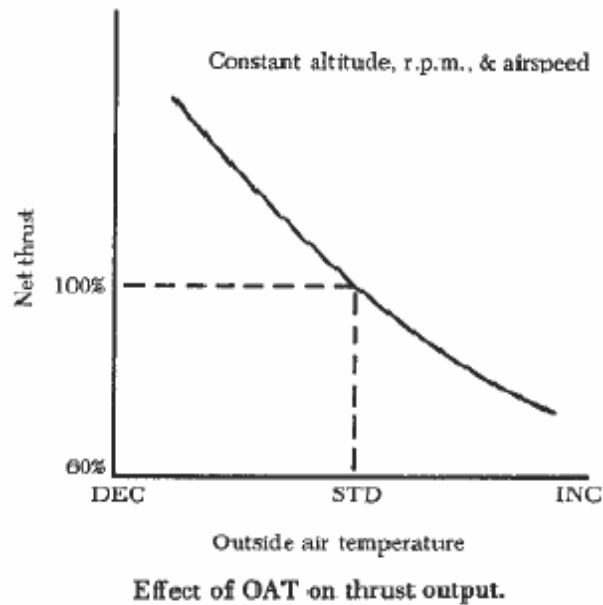
Dari grafik dapat dilihat bahwa randemen gaya dorong pesawat memakai baling baling hampir 2 kali gaya dorong yang diperoleh turbojet pada kecepatan rendah, sementara turbo jet randemen gaya dorong melebihi turbo prop pada kecepatan tinggi. Randemen gaya dorong bila ditinjau dari pemakaian bahan bakar pada kecepatan rendah, maka pesawat yang memakai baling baling lebih menguntungkan.

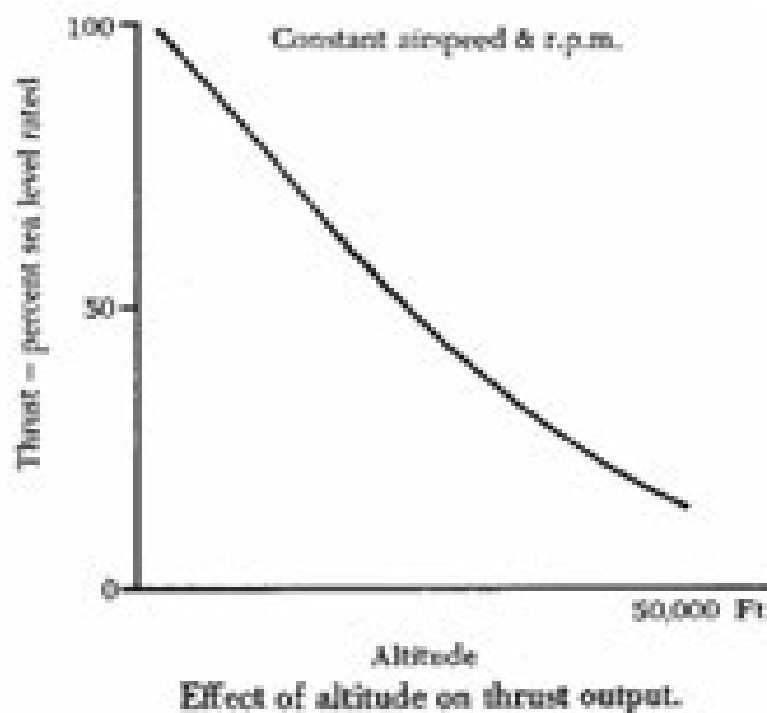
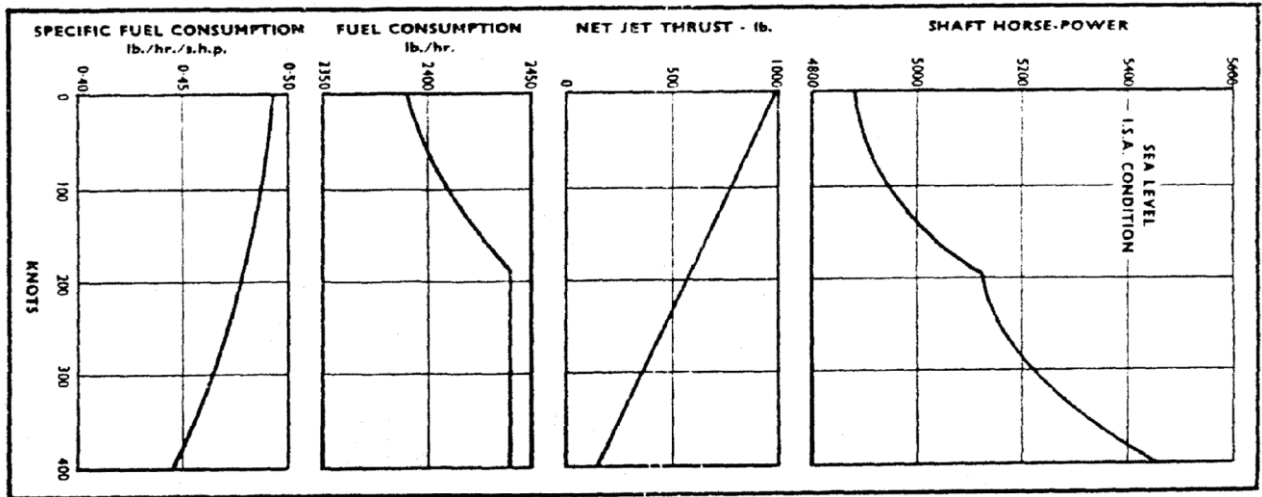
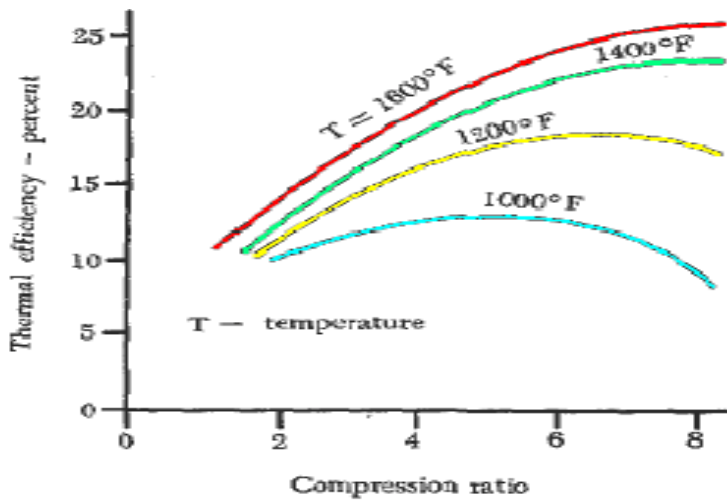
Pada gambar 20 diperlihatkan pengaruh temperature udara masuk compresor terhadap efsisensi panas. Semakin tinggi suhu udara masuk kompresor, thrust yang dihasilkan makin sedikit, dengan catatan altitude, rpm dan airspeed constant.

Pada gambar 21 pengaruh kenaikan altitude terhadap thrust. Jika altitude pesawat bertambah, maka besaran density berkurang. Akibatnya massa udara berkurang.

Pada gambar 22 memperlihatkan pengaruh aircraft speed terhadap Net thrust, s.h.p dan terhadap fuel consumption. Pada kecepatan rendah specific thrust berkurang lebih cepat dibandingkan dengan penambahan udara, dengan demikian net thrust berkurang. Sementara jika kecepatan bertambah pada kecepatan yang tinggi, penambahan aliran lebih cepat dibandingkan pengurangan specific thrust, yang menyebabkan net thrust semakin bertambah, dan ini berlajut terus sampai pada kecepatan suara.

Pada gambaar 23 memperlihatkan pengaruh perbandingan kompressi terhadap efisiensi panas,pengaruh efisiensi kompresor dan turbin terhadap efisiensi panas,pengaruh kecepatan terhadap Net thrust dan pengaruh kecepatan terhadap spesifik thrust dan jumlah aliran udara.

Gambar 17. Motor baling baling

Gambar 18. Motor turbojet

Gambar 19. Randemen Gaya Dorong

Effect of OAT on thrust output.

Gambar 20. Pengaruh temperature terhadap Thrust

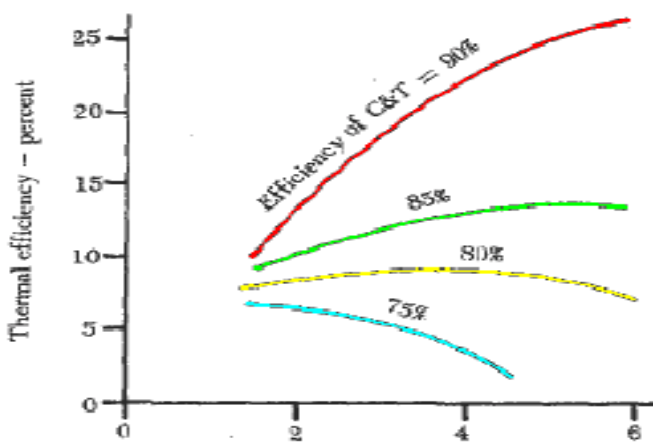
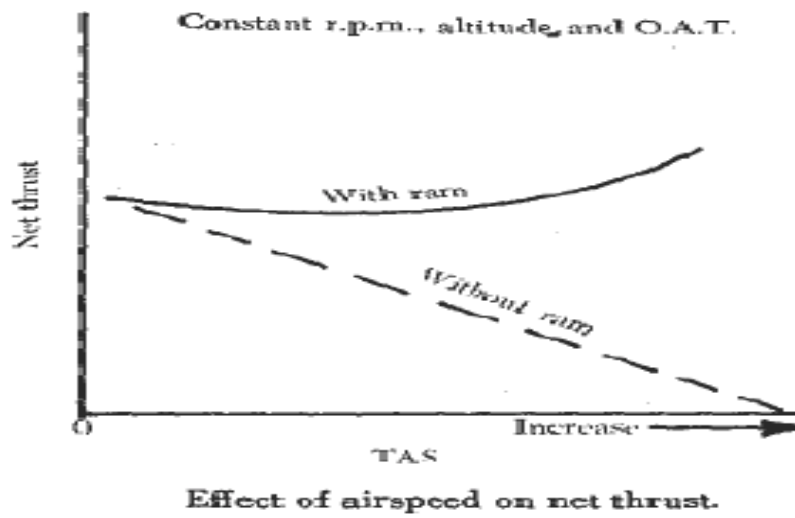
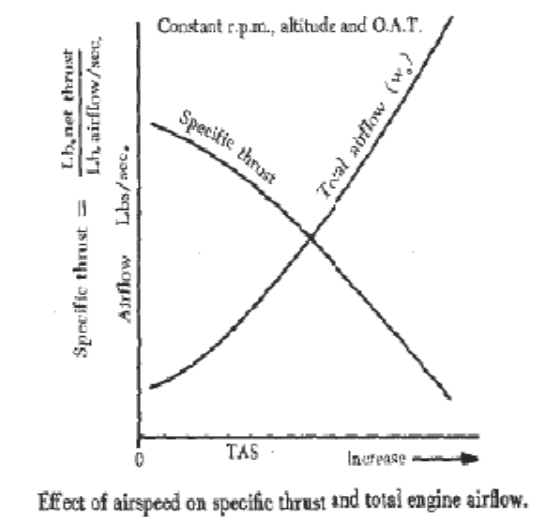
Effect of altitude on thrust output.

Gambar 21. Pengaruh altitude terhadap thrust.

Gambar 22. Pengaruh kecepatan pesawat terhadap s.h.p dan fuel consumtion

The effect of compression ratio on thermal efficiency.

(a)

(b)

Effect of airspeed on net thrust.

(c)

Effect of airspeed on specific thrust and total engine airflow.

(d)

Gambar 23 (a),(b),(c) dan (d)

a.Pengaruh perbandingan kompressiterhadap efisiensi panas

b.Pengaruh efisiensi kompresor dan turbin terhadap efisiensi panas

c. Pengaruh kecepatan terhadap Net thrust

d. Pengaruh kecepatan terhadapspesifik thrust dan jumlah aliranudara.

BAB 4 Bagian-bagian Konstruksi Gas Turbine Engine

Proses yang berlangsung pada motor turbin sama dengan proses yang berlangsung pada motor piston, hanya saja tempat dimana tejadinya proses yang berbeda.Pada piston engine,proses isap, kompressi, pembakaran dan ekspansi berlangsung pada tempat yang sama (dalam ruang bakar) tapi waktu yang berlainan; sementara proses tersebut berlangsung dalam tempat yang berlainan dengan waktu yang bersamaan pada gas turbin engine.

Pada umumnya motor turbin gas mempunyai bagian bagian utama sebagai berikut:

(1) Bagian pemasukan udara (air inlets)

(2).kompresor

(3).Ruang bakar.

(4).Turbin

(5).Alat alat bantu (accessory)

(6).Sistem-sistem

.sistem starting

.sistem bahan bakar.

.sistem pelumasan

.sistem anti es

.sistem pendinginan dll.

Bagian bagian utama semua motor turbin gas pada dasarnya adalah sama, hanya kadang kadang nama dari bagian atau komponen agak berbeda karena adanya perbedaan terminologi dari masing masing pembuat / pabrik dari motor tersebut.

Faktor terbesar yang mempengaruhi bentuk konstruksi dari setiap motor turbin gas adalah type dari kompresor yang digunakan, yang ditentukan saat perencanaan.

A *Jalan masuk udara (air entrance)*

Jalan masuk udara direncanakan untuk menyalurkan udara masuk ke kompresor, dengan kehilangan energi yang seminim mungkin, sebagai akibat dari tahanan (drag) atau kehilangan tekanaan tumbuk. Udara yang masuk kompresor harus bebas dari turbulen, guna mendapatkan efisiensi kerja yang maksimum.

Jumlah udara yang masuk kedalam motor tergantung dar 3 faktor:

1) Jumlah putaran motor(rpm)
2) Kecepatan pesawat
3) Kerapatan (density)udaradisekeliling pesawat

Jalan masuk udara dapat diklasifikasikan sbb:

1) Jalan masuk pada hidung (Nose inlet) dipasang pada hidung badan pesawat, atau kulit (pod) dari powerplant ataupada necelle
2) Jalan masuk pada sayap (wing inlet) terpasang di sepanjangbagian depan sayap (wing

leading edge) biasanya padapangkal (root) sayap untukpesawat dengan motor tunggal (singleengine installation)

3) Saluran pemasukan yangmenyiduk (scoop inlets) yang ada dibawah badan pesawat

atau dibawah nacelle

4). Saluran pemasukan yang berpancar (flush inlets) yang tersembunyi disisi badan pesawat, kulit powerplantatau nacelle.

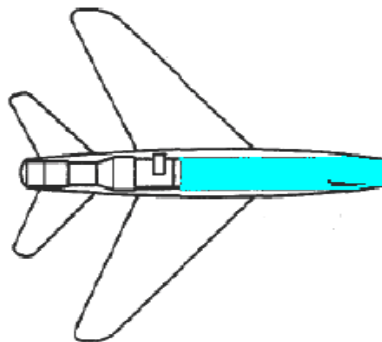
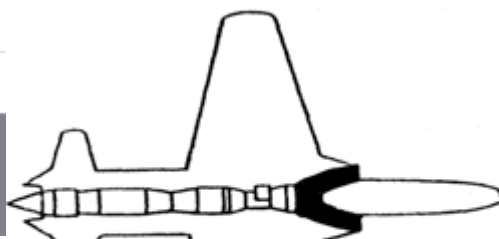
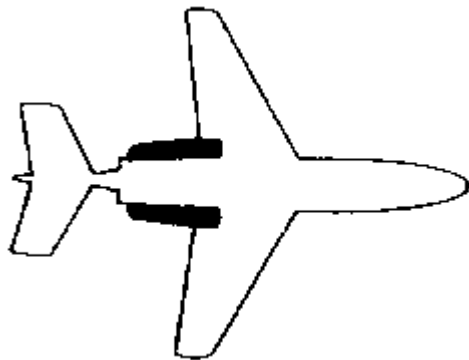
Pada dasarnya ada 2 macam jalan masuk udara,yaitu:

1) Jalan masuk tunggal (single entrance)

2) Jalan masuk terbagi (divided entrance)

Pada umumnya yang dipergunakan adalah jalan masuk tunggal dengan motor turbin gas arus axial dengan maksud membangkitkan tekanan tumbuk maksimum. Aliran udara masuknya langsung tegak lurus. Jalan masuk tunggal ini biasanya tidak pada sayap (external installation) agar supaya jalan masuk tidak terhalang dan kemungkinan mempergunakan jalan masuk tunggal pendek dan lurus. Jalan masuk terbagi memungkinkan udara dapat masuk dari dua arah dapat diperlambat waktu masuk kedalam ruang kumpul (plenum chamber), serta baik untuk kompresor dengan dua pintu masuk (double entry compresor).Plenum chamber adalah suatu ruang yang besar untuk mengumpulkan udara tumbuk (ram air), didalam badan pesawat.

Sistem saluran pemasukan motor Turbojet

Pemasukan udara untuk motor turbojet dan saluran pemasukan udara (inlets duct) harus bebas dari kemungkinan kemungkinan terjadi perusakan aliran maupun tekanan udara.Udara dengan energi yang utuh dengan kwantitas yang cukup harus sampai dimuka kompresor. Keadaan udara masuk yang selalu seragam dan selalu tetap sangat diperlukan untuk mencegah terjadinya kelumpuhan kompresor (Compressor stall) dan mencegah terjadinya suhu yang berlebihan dalam motor turbin gas.

Gambar 24. Pesawat terbang dengan lorong pemasukan tunggal

Gambar 25. Saluran masuk pada pangkal sayap (wing root inlet)

Gambar 26. Saluran masuk sisisamping

Biasanya saluran pemasukan udara merupakan bagian dari kerangka pesawat dan tidak merupakan bagian dari motor.

Motor turbin gas membutuhkan enam sampai sepuluh kali lebih banyak udara tiap waktunya dari pada motor piston dengan ukuran yang sama besar.

Saluran pemasukan mempunyai dua fungsi yaitu untuk motor dan untuk pesawat itu sendiri.

Yang pertama : saluran harus mampu mendapatkan kembali tekanan arus udara bebas sebesar sebelum masuk ke dalam saluran dan meneruskan tekanan arus udara ini ke motor dengan kehilangan tekanan yang minim. Ini dikenal dengan istilah mendapatkan pemulihan tekanan tumbuk (ram recovery) atau mendapatkan kembali tekanan keseluruhan (total pressure recovery).

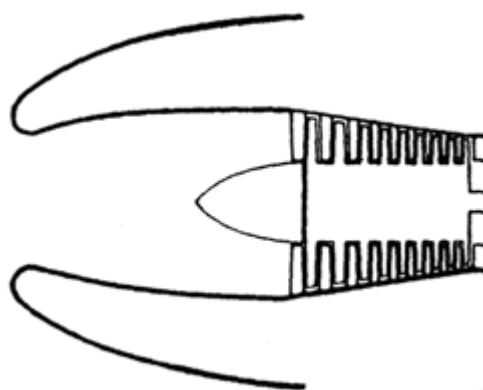
Yang kedua: saluran memberikaan udara ke kompresor dalam keadaan seragam dengan arus turbulen dan variasi tekanan yang sekecil kecilnya.

Fungsi terhadap pesawat terbang, adalah bahwa saluran harus dapat menahan akibat

tahanan (drag) yang terjadi. Penurunan tekanan (pressure drop) disebabkan oleh gesekan udara pada kedua sisi saluran dan dari lengkung dalam sistemlorong itu. Arus yang baik tergantung dari penjagaan terhadap jumlah turbulensi yang diusahakan seminim mungkinpada udara yang masuk kedalam saluran. Saluran harus terdiri dari bagian bagian yang cukup lurus guna menjamin arus udara yang baik.

Pemilihan bentuk jalan kesaluran pemasukan udara ditentukan oleh lokasi motor dalam pesawat serta kecepatan, ketinggian dan sikap pesawat yang direncanakan.

Jenis jalan masuk tunggal dari saluran adalah yang paling sederhana dan paling efektip oleh karena saluran berada tepat di depan motor dan pada kedudukan demikian pesawat menyiduk udara tanpa suatu halangan atau ganguan. Dalam gambar 24 menunjukkan sebuah lorong dengan jalan masuk tunggal pada pesawat turbo jet dengan satu motor. Dalam pesawat terbang dengan motor tunggal, yang-motornya dipasang di dalam badan pesawat diperlukan saluran yang panjang untuk pemasukan udara. Saluran yang panjang itu menimbulkan. menurunnya tekanan udara, tetapi hal ini dapat diimbangi dengan saluran yang dibuat dengan karakteristik arus udara yang licin *(smooth).*

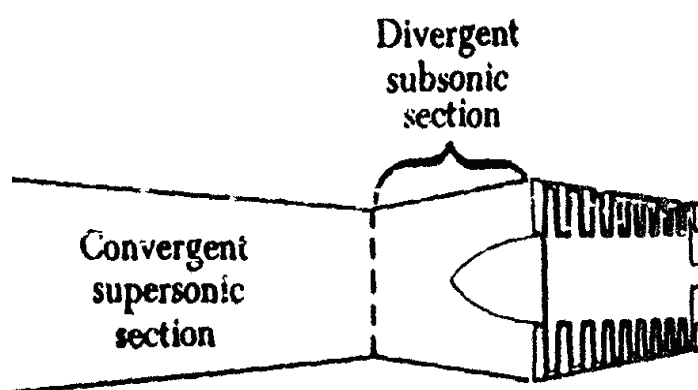
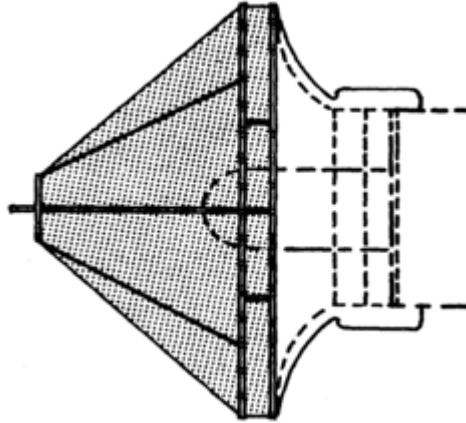
Pada pesawat dengan motor ganda *(multi-engine)* lorong pemasukannya pendek dan.lurus atau hampir lurus adalah lebih baik, walaupun saluran yang pendek dan lurus menghasilkan peurunan tekanan yang minimum, tetapi motor-mungkin akan mengalami turbulensi pemasukan

Gambar 27. Saluran masuk bentuk Divergent untuk sub.sonic

(inlet turbulence) khususnya pada kecepatan rendah atau pada waktu pesawat dalam keadaan bersudut serang yang besar.

Keperluan untuk pesawat yang terbang cepat, bermotor tunggal, kursi penerbang yang ada dibawah; di dalam pesawat dan dekat pada hidung pesawat, memberikan kesukaran pada pemasangan saluran jalan masuk yang tunggal. Untuk ini diperlukan saluran jenis lain vaitu vang disebut saluran vang terbagi *(divided-entrance duct).*
Lorong yang terbagi mendapatkan udara masuk dari kedua sisi badan pesawat. Jalan masuk dapat dilakukan pada pangkal sayap (wing root inlet) atau yang berbentuk senduk (scoop inlet). Gambar 25 menunjukkan saluran masuk pada pangkal sayap di kedua sisi badan pesawat.

Pada gambar 27 diperlihatkan bentuk saluran masuk divergent. Dengan bentuk tersebut kecepatan udara semakin berkurang, sementara tekanan bertambah besar pada saat udara memasuki kompresor. Ini tentunya sangat menguntungkan bila dibandingkan saluran masuk bentuk lurus (straight). Jenis ini cocok untuk pesawat sub-sonic.

Untuk pesawat supersonic, bentuk air intake adalah Convergent-Divergent (gambar 28). Dengan bentuk tersebut, saat melewati daerah convergent kecepatan udara berkurang dan tekanan naik. Saat udara melewati daerah divergent, kecepatan berkurang dan tekanan statis akan naik.

Pada saat pengetesan pesawat dipakai saluran masuk Belmouth.

Gambar 28. Saluran masuk Convergent-Divergent untuk Supersonic

Gambar 29. Saluran masuk Belmouth khusus tes engine

Dengan bentuk tersebut udara dapat masuk semaksimal mungkin sehingga power motor dapat dibuat maksimum power atau minimum power.

Untuk pesawat transonic, saluran masuk dibuat yang variable, dapat di-atur pada posisi straight (saat sub sonic) atau divergent- convergent (saat supersonic).

B Kompresor

Fungsi bagian kompresi adalah sebagai berikut:

1. Menghimpun udara dengan jumlah yang cukup besar sesuai dengan kebutuhan untuk pembakaran.Khusus untuk maksud ini kompresor harus menaikkan tekanan darimassa udara yang diterima darilorong pemasukan dan kemudianditeruskan keruang pembakaran (burner) dengan jumlah dan tekananyang cukup.

2. Memberikan udara cerat (bleed air) yaitu udara yang keluar dari beberapa bagian kompresoruntuk macam macam keperluan dalam motor dan keperluan pesawat terbang.

Udara cerat ini diambil dari beberapa tingkat tekanan (pressure stage),tempat pengeluaran udara cerat atau lubang (port) pengambilan udara cerat tergantung dari tekanan dan suhu udara yang diperlukan.Semakin tinggi tekanan udara yang diperlukan maka udara
cerat diambil semakin dekat kebelakang/ kebagian terakhir kompresor.Jika udara cerat tekanan tinggi tersebut harus dingin,maka udara tersebut harus disalukan lebih dulu ke unit pendingin (refrigeration unit).

Udara cerat dipakai untuk beberapa keperluan seperti:

1.Keperluan udara dalam cabin(cabin pressurization)
2.Peralatan pencair es dan peralatan pencegah terjadinya es
3.Menjalankan motor
4.Sistem controle bosster servo
5.Sebagai sumber tenaga guna menggerakkan atau mengatur instrumen
6.Unit penggerak pembantu.

Tempat pemasangan kompresor tergantung pada jenis kompresor.Pada motor sentrifugal,kompresor dipasang antara bagian perlengkapan (Accessoryies section) dan bagian pembakaran(commbusttion section).Dalam motor arus aksial, kompresor dipasang antara lorong pemasukan dan bagian
pembakaran.

Ada 2 jenis kompresor:

1 Kompresor arus sentrifugal.
2.Kompresor arus aksial.

Dalam motor arus sentrifugal, kompresor bekerja maksudnya dengan memperoleh udara kearah radial dengan gerakan sentrifugal.

Dalam arus motor aksial, udara dimampatkan sewaktu melanjutkan gerakannya yang searah dengan arah sumbu motor.Arah tersebut disebut arah aksial.Jadi dalam hal ini tidak kehilangan energi karena tidak ada pembelokan.

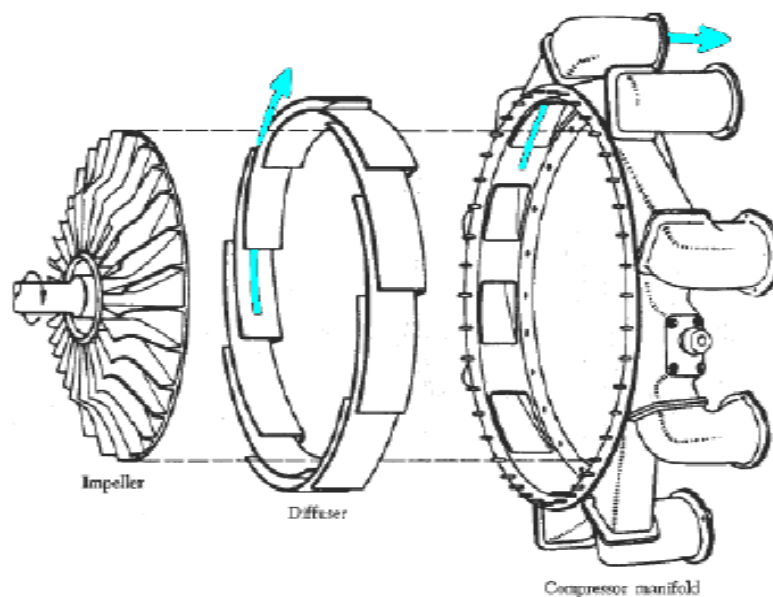
Dari pemasukan sampai pengeluaran udara bergerak sepanjang jalan aksial (axial path) dan ditekan dengan perbandingan kira kira 1:1.25 tiap tingkat (stage).

.

1.Kompresor arussentrifugal.

Terdiri dari: impeller yang berputar, diffuser yang tidak bergerak dan manifold kompresor (compresor manifold). Impeller disebut rotor dan diffuser sebagai stator. Diffuser dipasang di dalam manifold kompresor dengan cara di baut pada manifold kompresor, tetapi kadang kadang keduanya disebut sebagai diffuser.

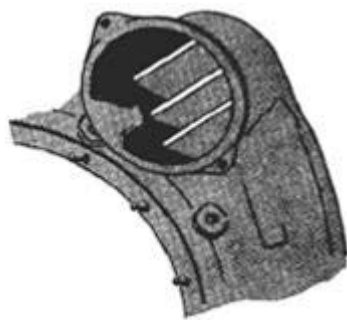
Impeller terbuat dari campuran aluminium tempaan dengan pengerjaan panas (heat threatment) dan dikerjakan dengan mesin serta dihaluskan untuk memperkecil arus turbulensi.

Impeller tugasnya mengisap udara dan mempercepat alirannya

Gambar 30. Komponen kompresor sentrifugal

dengan cara mendorong kearah luar. Diffusar dipasang mengelilingi impeller, dengan

demikian udara yang keluar dari impeller diterima oleh diffusar. Dalam diffussar udara mendapatkan ruang yang membesar sehingga kecepatan udara makin berkurang sedang tekanan makin lebih tinggi. Beberapa jenis impeller dibuat dari satu tempaan. Jenis impeller ini dapat dilihat pada gambar 30 dan jenis lain adalah pada gambar 32 . Pada gambar 30 dan 32 dapat dilihat arus udara melewati diffusar dan manifold kompresor yang diperlihatkan dengan panah.

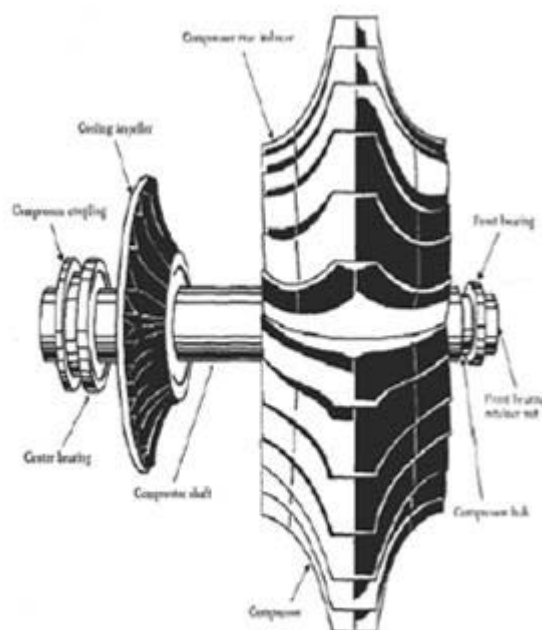
Kedua jenis impeller seperti pada gambar di samping mempunyai bentuk yang sama seperti impeller pada motor piston. Impeller dengan pemasukan ganda sama seperti impeller pada motor piston. Impeller dengan pemasukan ganda sama dengan impeller dengan pemasukan tunggal yang punggungnya dipasang saling menempel. Tetapi motor turbo jet membutuhkan udara lebih banyak, sehingga impeller pada turbo jet ukurannya lebih besar. Lorong untuk jenis kompresor ini mempunyai bagian atau ruangan yang besar yang disebut ruang pleno *(plenum chamber).* Ruangan ini sangat diperlukan oleh kompresor sentrifugal dengan pemasukan ganda, karena udara harus masuk ke motor dengan sudut yang tepat terhadap sumbu motor.

Yang termasuk dalam instalasi adalah juga pelenum chamber saluran pemasukan tambahan, *(auxiliary air intake doors)* atau pintu-pintu hembus. *(blow, in doors),* Pintu-pintu ini memasukkan udara ke dalam ruang motor *(engine compartment)* selama pesawat masih dilandasan. Bila udara dibutuhkan yang lewat lorong pemasukan masih kurang. Pintu-pintu ini tetap tertutup oleh pegas, pada waktu motor tidak dijalankan.

Gambar 31. Siku jalan keluar udara dengan sudu pembelok untuk mengurangi kehilangan
tekanan.

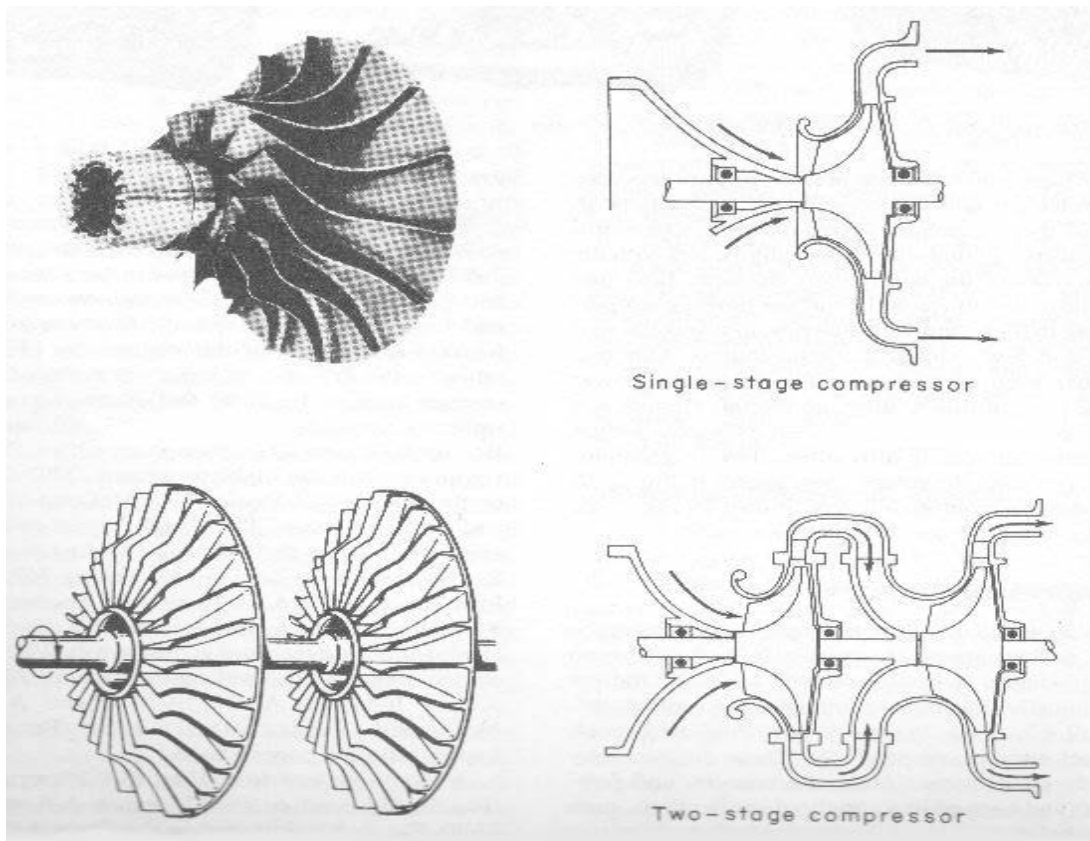
Pada waktu motor berputar, saluran-saluran itu akan terbuka secara otomatis bila dalam ruang motor tekanan udaranya lebih rendah dari pada tekanan atmosphir.

Selama pesawat tinggal landas *(take off)* dan terbang *(flight)* tekanan udara tumbuk dalam ruangmotor membantu pegas menahan pintu-pintu itu tertutup.

Diffusar mengarahkan arus udara dari impeller ke maanifold dengan sudut yang tepat sesuai perhitungan, guna mengusahakan jumlah yang maksimum udara yang masuk ke ruang pembakaran (combustion chamber).

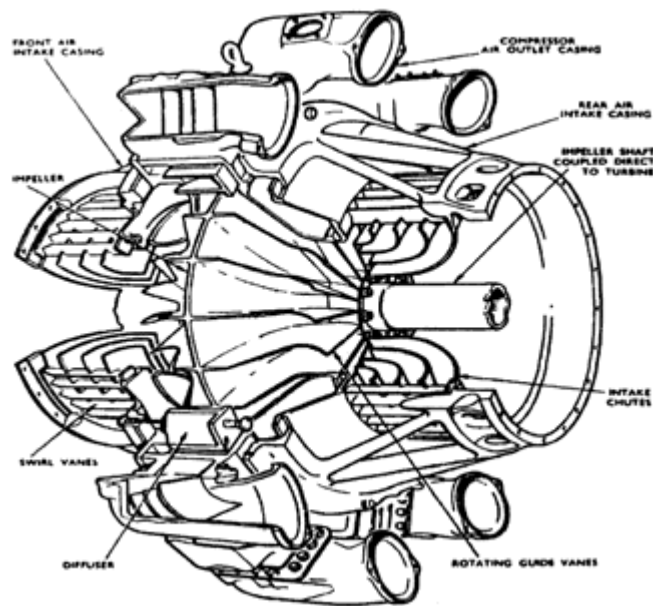
Manifold kompresor mempunyai satu lubang pengeluaran untuk tiap tabung pembakaran. Siku siku (elbow) dibuat pada tiap lubang

Gambar 32. Impeller pemasukan berganda dengan bilah induser sebagai bagian yang terpisah.

keluar (outlet port) pada manifold.Lubang keluar ini dibuat dengan betuk lorong (duct)dan dikenal dengan bermacam macam, yaitu: lorong keluar (outlet duct), siku - siku keluar (outlet elbow) atau lorong masuk tabung pembakaran

Guna membantu siku siku melaksanakan fungsinya tanpa banyak kehilangan tekanan,kadang kadang dalam siku itu dipasan sudu sudu pembelok atau sudu sudu cascaden yang permukaannya halus tidak banyak kehilangan tekanan.

Gambar 33. Single and two stage Centrifugal Compressors

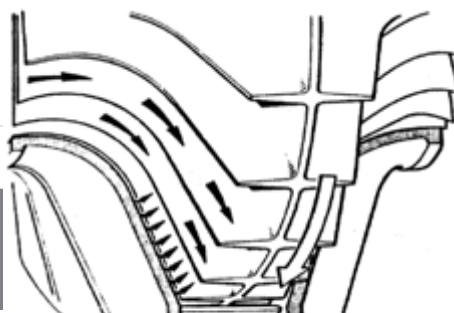
2. Kompresor Aksial.

Mempunyai dua bagian utama,yaitu rotor dan stator.Rotor mempunyai sudu sudu (blades) yang dipasang kuat pada spindel. Sudu sudu ini memberikan gerak dorong (impel) ke arah belakang seperti pada baling baling. Rotor berputar pada kecepatan putar yang tinggi , mengisap udara kedalam lubag masuk kompresor dan mendorong ke belakang dengan beberapa tingkat.

Aksi motor mengakibatkan naiknya tekanan udara pada setiap tingkat dan mempercepat udara kearah belakang dengan beberapa tingkat.

Gambar 34. Dowble entry single stage Centrifugal Compressors

Dengan menaikkan kecepatan udara maka berpindahlah energi dari kompresor ke udara yang dipercepat dalam bentuk kecepatan.

Sudu sudu stator bertindak sebagai diffusar pada setiap tingkat dengan mengubaah sebagian kecepatan menjadi tekanan. Setiap pasangan rotor dan stator menciptakan kenaikan tekanan. Jumlah barisan (rows) pada sudu sudu ditentukan oleh jumlah udara dan tekanan yang dikehendaki.Semakin banyak tingkat semakin tinggi perbandingan kompresi yang terjadi. Motor turbojet dengan kompresor jenis aksial, kebanyakan mempergunakan 10 sampai 16 tingkatan.

Stator punya barisan barisan

Gambar35. Kerja impeller

sudu sudu yang ditanamkan dengan bentuk ekor burung ke dalam ring belah (split ring), bilah stator dipasang radial kearah poros rotor dan sangat rapat pada kedua sisi dari setiap tingkat rotor.

Peti kompresor yangsudu stator dipasang erat padanya dibagi mejadi dua bagian kearah mendatar. Kedua bagian atas dan bawah dapat dilepas untuk memudahkan pemeriksaan (Inspection) atau perbaikan (maintenance) sudu sudu rotor dan stator. Sudu sudu stator fungsinya ada dua,yaitu:ia menerima udara dari lorong udara masuk atau tingkat yang
ada di depannya dan memberikan udara tersebut ke tingkat berikutnya atau ke pembakaran dengan kecepatan dan tekanan yang dapat dikerjakan (workable). Ia juga mengendalikan arah udara kesetiap rotor guna mendapatkan efisiensi yang maksimum yang mungkin dapat
dicapai oleh sudu sudu kompresor.

Sudu sudu rotor biasanya didahului oleh rangkaian sudu sudu penghantar (guide vanes) menjuruskan arus udara kedalam sudu sudu rotor tingkat pertama dengan sudut yang tepat dan melakukan gerakan memuntir (swirling motion). Gerakan puntir ini searah dengan putaran rotor, gunanya untuk mengurangi hambatan (drag) pada sudu sudu rotor tingkat pertama.Dalam gambar 36 adalah gambar bagian rotor dan stator kompresor arus aksial.

Sudu-sudu penghantar pemasukan terbuat dari baja yang dilengkungkan, biaisanya dilas pada gelang dalam dari baja *(steel inner shroud)* dan gelang luar dari baja *(steel, outer shroud).* Bilah-bilah penghantar pemasukan kadang-kadang didahului oleh suatu tirai pemasukan pelindung *(protective inlet screen).* Tirai ini sebagai saringan

benda-benda asing, misalnya batu, kotoran-kotoran, kain kain atau kotoran lainnya ke dalam kompresor.

Pada ujung pengeluaran kompresor sudu-sudu stator meluruskan arus udara untuk mengurangi turbulensi, sudu-sudu ini disebut sudu-sudu pelurus *(straightening vanes)* atau rangkaian sudu pengeluaran *(outlet vane assembly).*

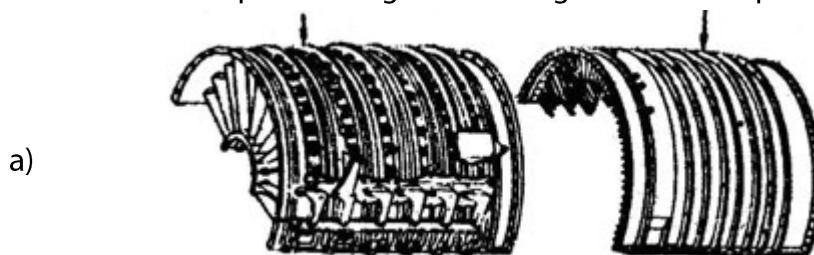
Peti kompresor arus aksial tidak hanya mendukung sudu-sudu stator juga berguna sebagai dinding luar jalur aksial arus udara, teta'pi juga untuk tempat pengambilan atau pengeluaran udara kompresor untuk bermacam-macam kegunaan.

Sudu-sudu stator, biasanya dibuat dari baja dengan mutu yang tahan terhadap korosi dan erosi. Bilah-bilah dilas dalam gelang dari gelang luar disekerup pada dinding dalam rumah kompresor dengan sekerup yang mengikat erat ke arah radial.

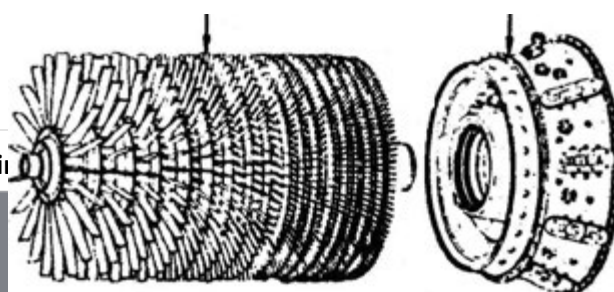
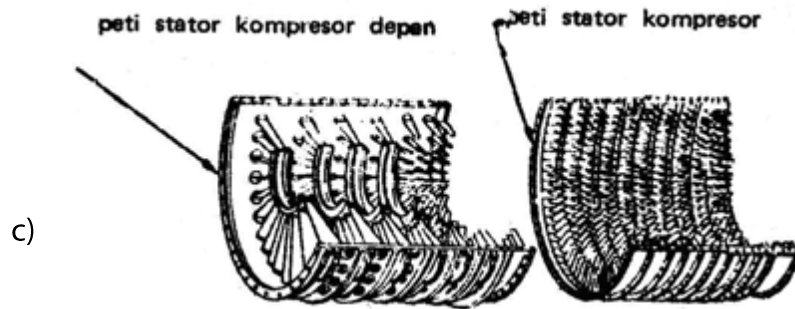
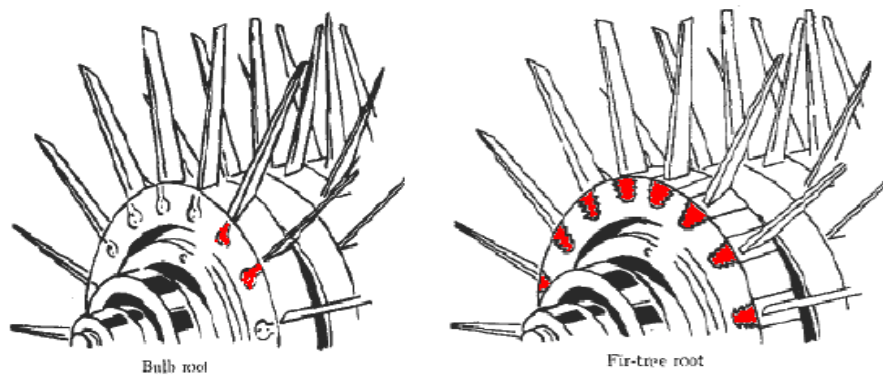
Sudu-sudu rotor biasanya dibuat dari baja tahan karat. Cara pemasangan sudu-sudu pada roda piringan rotor *(rotor disk rim)* ada macam-macam tetapi biasanya pemasangan dengan bentuk bola *(bulb type)* atau bentuk akar pohon cemara *(fir tree type root)* lihat gambar. 36.d .

Sudu-sudu dikunci, *(locked)* dengan sekerup, las titik *(peening),* kawat pengunci *(locking wire),* pin dan pasak *(key).*Ujung sudu-sudu kompresor *(compressor blade tip),* menipis keujung profil, bentuk ini mencegah kerusakan yang serius bila terjadi singgungan antara sudu-sudu dengan rumah kompresor. Panjang sudu-sudu pada rotor untuk tiap tingkat berbeda, makin kebelakang letak rotor, makin pendek sudu-sudu yang terpasang pada rotor itu,

Peti stator kompresoor bagian belakang Peti kompresor bagian belakang

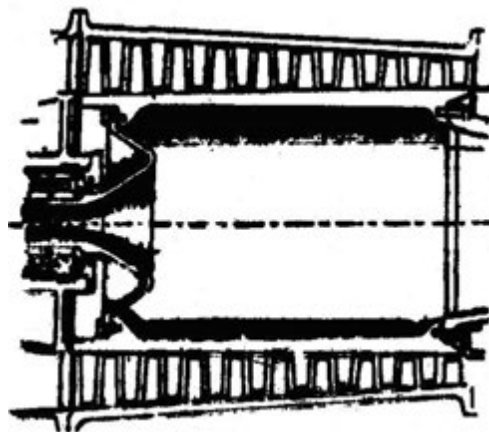
a)

Rotor kompresor Rangka belakang kompresor

b)

c)

d)

Gambar 36. Peti stator dan rotor

hal ini disesuaikan, dengan volume udara yang makin ke belakang makin tinggi tekanannya. Ruang yang dilalui udara dalam kompresor makin menyempit ke arah belakang. Untuk rotor jenis drum,dimana sudu-sudu tertanam pada drum yang

berbentuk silinder, terdapat dalam peti kompresor yang berbentuk kerucut terpancung. Rotor jenis drum terdiri dari ring-ring yang mempunyai kuping yang berguna untuk menghubungkan rotor-rotor satu sama lain dengan baut yang menerobosnya. Jenisrotor ini baik untuk kompresor dengan putaran rendah, dimana tegangan sentrifugal tidakmembahayakan . Rotor jenis piringan terdiri dari beberapa piringan yang dibuat dari alumunium tempaan, dan dirangkaikan dengan poros baja, sudu-sudu rotor ditanamkan dengan bentuk ekor burung pada piringan. Konstruksi yang lain; piringan dan poros terdiri dari satu bagian terbuat dari aluminium yang dibaut pada leher poros dari baja pada ujung depan dan belakang.

Jenis rotor ini selalu dipakai untuk kecepatan putar yang tinggi. Sebenarnya ada dua macam kompresor aksial yang banyak dipakai yaitu rotor tunggal *(single rotor)* dan rotor rangkap *(dual rotor)* selanjutnya kadang-kadang disebut gelendong 'pejal *(solid spool)* dan gelendong terbelah *(split spool).* Jenis rotor yang pertama pada pemakaiannya dilengkapi dengan Sudu-sudu pemasukan yang lanjutnya udara dimampatkan dan didorong masuk ke dalam ruang pembakaran. Nosel bahan bakar yang menjulur dalam tiap laras silinder (cylinder liner) mengabutkan bahan bakar untuk pembakaran. Jumlah bahan bakar yang dikabutkan diatur oleh kedudukan tongkat tenaga *(power lever)* yang diatur oleh penerbang. Kompresor dengan gelendong terbelah terdapat pada motor turbojet dari Pratt and Whitney JT3C. Kompresor ini mempunyai dua rotor yang terpisah, masing-masing digerakkan oleh turbin yang memutar rotor-rotor kompresor itu dengan poros-poros yang konsentris, artinya poros yang satu ada di dalam poros yang lain, tetapi satu dengan lain yang tidak saling mempengaruhi. Kedua kompresor itu berlainan putarannya.

Gambar 37. Rotor jenis drum.

Keuntungan dan kerugian kedua jenis kompresor.

Keuntungan kompresor arus sentrifugal:

1. kenaikan tekanan yang tinggi tiaptingkat.

2. Efisiensi baik untuk bermacam-macam kecepatan putar yangrasional luas.

3. kontruksi sederhana.

4. Ringan.

5.Tenaga untuk start ringan.

Kerugian kompresor arus sentrifugal:

1. penampang depan yang luas untuk arus udara yang ditentukan.

2. lebih dari dua tingkat tidakpraktis,karena terjadi kehilangan-kehilangan dalam belokan antara tingkat-tingkat itu.

Keuntungan kompresor arus aksial:

1. Efisiensi tinggi.

2. Penampang depan yang sempituntuk arus udara yangditentukan.

3. Arus yang langsungmenerobos, menyebabkanefisiensi menjadi tinggi akibat dariadanya

tekanan tumbuk (ram prsessure).

4. bertambahnya kenaikan tekananoleh penambahan tingkat tanpakehilangan yang perlu

diperhatikan

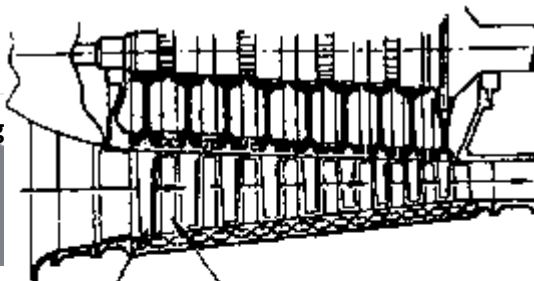
Kerugian kompresor arus aksial:

1. Efisiensi yang baik hanya terdapatatau terjadi pada suatu putaran tertentu saja.

2. kontruksinya tidak sederhana.

3. relatif berat.

4. tenaga untuk start berat, ini sebagian dapat diatasi dengan kontruksi kompresor gelondong

terpisah (split spool).

Gambar 38. Perubahan kecepatan dan tekanan di sekitar kompresor

Kerugian kompresor arus aksial:

1. Efisiensi yang baik hanya terdapat atau terjadi pada suatu putaran tertentu saja.
2. kontruksinya tidak sederhana.
3. relatif berat.
4. tenaga untuk start berat, ini sebagian dapat diatasi dengan kontruksi kompresor gelondong
terpisah (split spool).

Bagian Pembakaran (Combustion Section)

Bagian pembakaran adalah tempat terjadinya proses pembakaran udara yang dimanfaatkan dari kompresor masuk dalam ruang pembakaran ini menjadi panas dan bercampur dengan bahan bakar yang dikabutkan dari nosel ,lalu terbakar menghasilkan gas dengan suhu tinggi, sehingga energi dalam bahan bakar berobah menjadi energi

panas yang dipindahkan pada udaradan gas.sebagian besar dari energi ini dipakai oleh turbin guna memutar kompresor.

Fungsi pertama bagian pembakaran adalah membakar membakar campuran bahan bakar-udara, dengan demikian terjadi penambahan panas ke udara yang menerobosbagian pembakaran dari bagian kompresor ke bagian turbin ,demikian juga gas yang terjadi dari hasil pembakaran dalam ruang pembakaran.

Guna mendapatkan proses pembakaran yang efisiensi, maka ruang pembakaran harus:

1. Memberikan cara untuk pencampuran yang sebaik-baiknya antara bahanbakar dan udara, untukmenjamin pembakaran yangbaik dan sempurna.
2. Membakar campuran dengan efisien.
3. Mendinginkan hasil pembakaran yang panas itu sampai pada tingkat suhu yang mana sudu-sudu turbin dapat tahan pada kondisi kerja.
4. Meneruskan gas panas ke turbin.

Semua ruang pembakaran terdiri dari elemen elemen dasar yang sama:

1. Peti (casing)
2. laras dalam yang berlubang lubang (perforated innerliner)
3. Sistem injeksi bahan bakar (fuel injection system)
4. Beberapa perlengkapan untukpenyalaan permulaan.
5. Sistem pembuangan bahan bakar untuk mengeluarkan bahan-bakar sisa yang tidak terbakar.

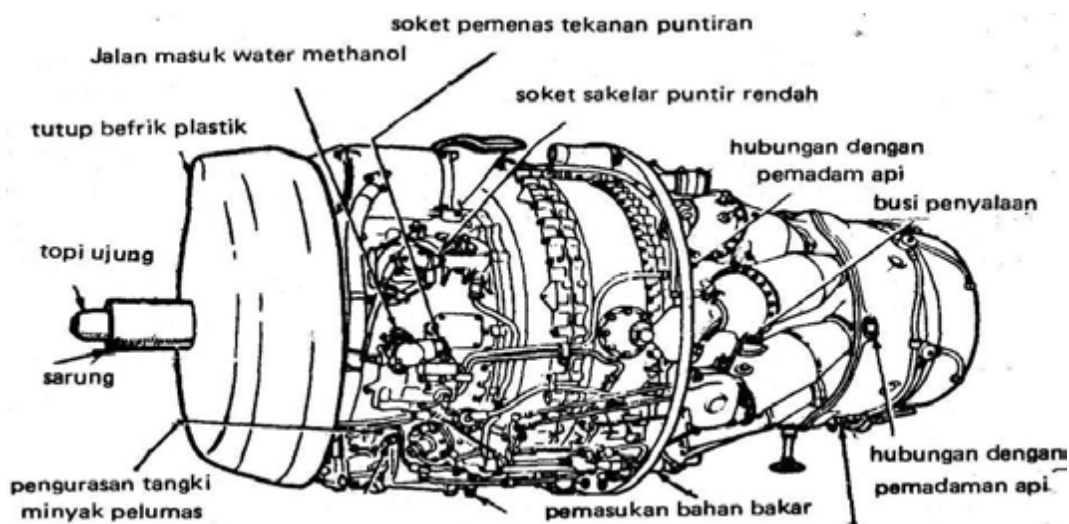
Ada tiga jenis tabungpembakaran. Ketiga jenis ini berbedabagian-bagiannya.

1. Jenis tabung ganda (multiplechamber) atau jenis tabung (can type)
2. jenis anular (annnular type)
3. jenis campuran annular-can (can annulartype)

Tabung pebakaran jenis kan ini adalah jenis yang dapat dipakai pada motor jet dengan arus sentrifugal ataupun aksial. Tapi yang sangat banyak dipakai untuk motor dengan kompresor adalah dari jenis arus sentrifugal.Semenjak udara meninggalkan kompresor telah dipisah-pisahkan atau dibagi merata yang dimulai dari sudu-sudu difuser.

Kemudian udara dengan mudah disalurkan dari difuser ke masing-masing tabung pembakar, yang terletak radial mengelilinginsumbu motor.Jumlah tabung pembakar berbeda beda tergantung dari tahun pembuatannya, paling sedikit dua buah, dan paling banyak 16 buah.

Dewasa ini banyak dipakai antara 8 sampai 10 buah. Di Amerika tabung pembakaran diberi ber nomor dengan urutan searah putaran jarum jam urutan dilihat dari belakang. Tabung no.1 terletak di puncak. Masing masing tabung pembakaran terdiri dari sebuah peti luar (outer case) atau rumah (housing) didalamnya terdapat laras tabung pembakaran (combustion chamber liner) atau selinder dalam (inner liner) yang berlubang lubang dibuat dari 3 baja tahan karat yang tahan terhadap suhu tinggi. Peti luar (outer case) dapat dibuka sehingga memungkinkan penggantian silinder dalam.Bahan tabung pembakaran terdiri dari 2 bagian yang berbeda besarnya. Bagian yang besar membungkus silinder bagian tengah dan bagian ujung gas keluar, sedangkan bagian tabung pembakar yang kecil membungkus silinder pembakar pada ujung pemasukan (inlet end).

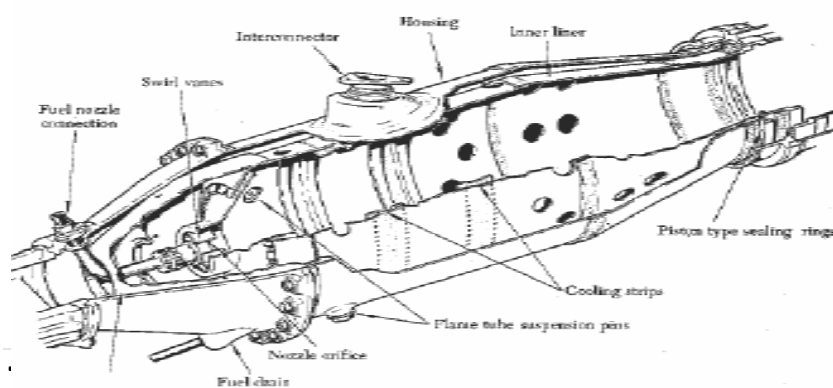
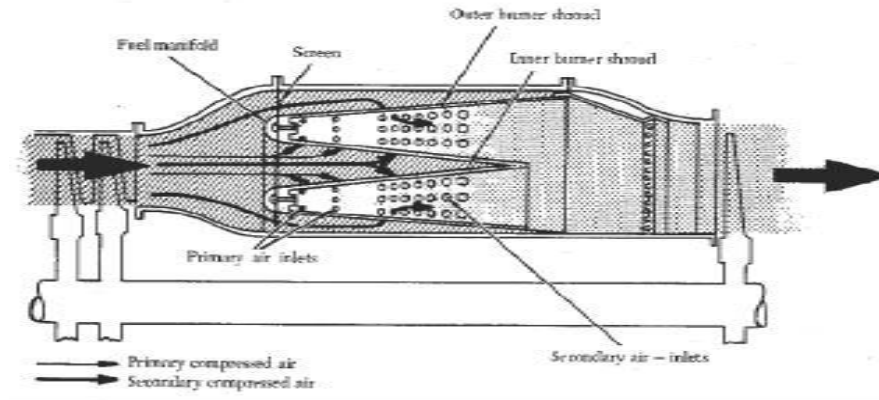
Konstruksi detail dari pipa penghubung banyak macamnya, tergantung dari jenis motornya , walaupun demikian komponen dasarnya hampir sama. Pipa penghubung dapat dilihat pada gambar 17.48

Gambar 39. Pengaturan tabung pembakaran jenis kan

Busi penyala seperti yang disebutkan terdahulu, biasanya berjumlah dua buah, dan ditempatkan pada dua tabung pembakaran jenis kan yang berlainan tempatnya.Keperluan lainnya yang penting dalam konstruksi tabung pembakaran itu adalah pengurasan (srainage) sisa bahan bakar yang tidak terbakar. Pengeluaran ini mencegah endapan (gum deposit) yang melekat dalam dinding manifold bahan bakar (fuel manifold),dan nosel (nozzel) tabung pembakaran. Endapan (deposit) ditimbulkan oleh residu yang tertinggal bila bahan bakar menguap.

Kemungkinan yang lebih penting adalah adanya bahaya nyala susulan (after fuel) yaitu bila bahan bakar yang tidak terbakar dibiarkan berkumpul sesudah penutupan katup (shut down). Bila bahan bakar ini tidak dikuras (drained) ada krmungkinan besar kelebihan bahan bakar pada tabung pembakaran akan terbakar dan corong gas buang (tail pipe) akan bersuhu tinggi melebihi batas suhu kerja yang aman .

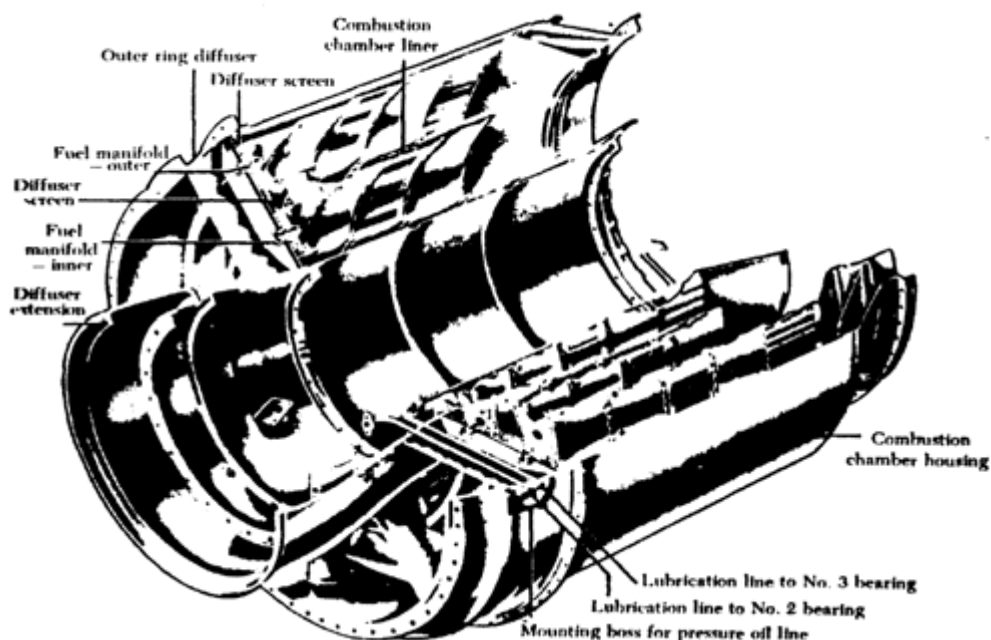
Hubungan pengurasan

Laras (liner) tabung pembakaran jenis kan berlubang lubang dengan ukuran dan bentuk yang berbeda beda. Tiap lubang mempunyai maksud tersendiri pengaruhnya atau akibat akibatnya pada penyebaran api dalam laras (liner).

Udara masuk kedalam tabung pembakaran terbagi bagi oleh lubang lubang itu. Lubang dengan ukuran dan letak tertentu di sebt louver dan yang lain disebut celah (slot). Udara dalam tabung pembakaran terbagi menjadi 2 bagian besar yaitu arus utama atau arus primer dan arus sekunder. Arus primer udara masuk ke laras pada ujung depan, udara tersebut bercampur dengan bahan bakar dan terbakar. Arus sekunder adalah udara pendingin yang dilewatkan antar peti luar (outer casing) dan laras danbergabung dengan pembakaran menerobos lubang yang lebih besar arah kebelakang laras, udara sekunder mendinginkan gas pembakaran dari 3500°F turun menjadi 1500°F.

Gambar 40.Ruang pembakaran jenis can

Gambar .41 Aliran udara pada dowble anular chamber.

Guna membantu bahan bakar cair menjadi kabut (automization), dibuat lubang lubang kecil pada lengkungan (dome) sekeliling nosel (nozzle) atau pada ujung pemasukan laras ruang pembakaran jenis can. Louver juga dilengkapkan guna mengarahkan udara sekunder ke arah memanjang laras sebagai lapisan pendingin (cooling layer) dalam laras lapisan udar ini juga bertujuan mengendalikan atau mengatur bentuk nyala bakar, sehingga api tetap ada ditengah tengah laras, oleh karenanya tercegahlah terbakarnya dinding laras.

Pada gambar 41 menggambarkan aliran udara menerobos louver dalam tabung pembakaran jenis dobel anular.

Nosel bahan bakar (fuel nozzle) mengeluarkan pancaran bahan bakar kedalam laras dalam keadaan yang sangat halus. Makin halus pancaran bahan bakar, makin baik jalann

Gambar 42.Ruang pembakaran dobel anular.

proses pembakaran dan makin cepat selesainya pembakaran dan lebih efisien.

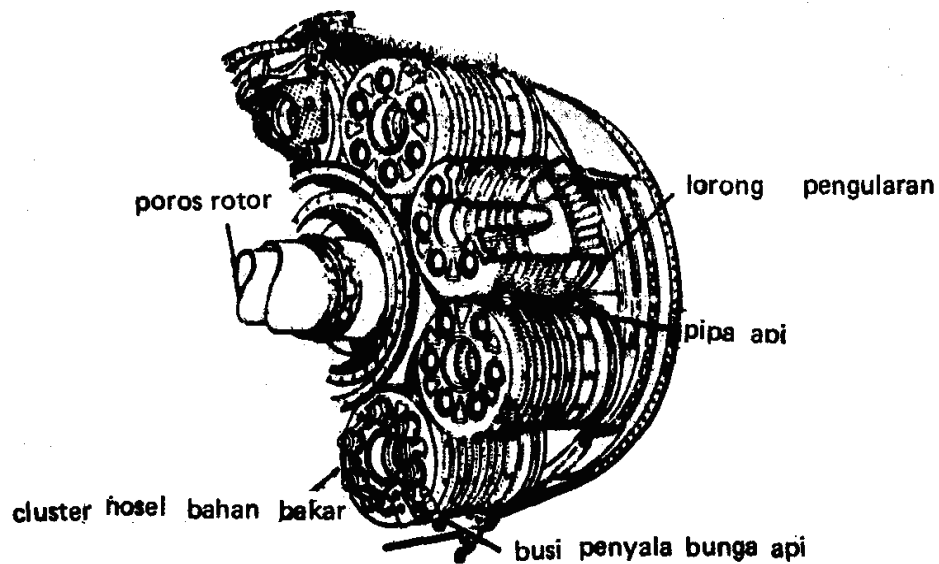
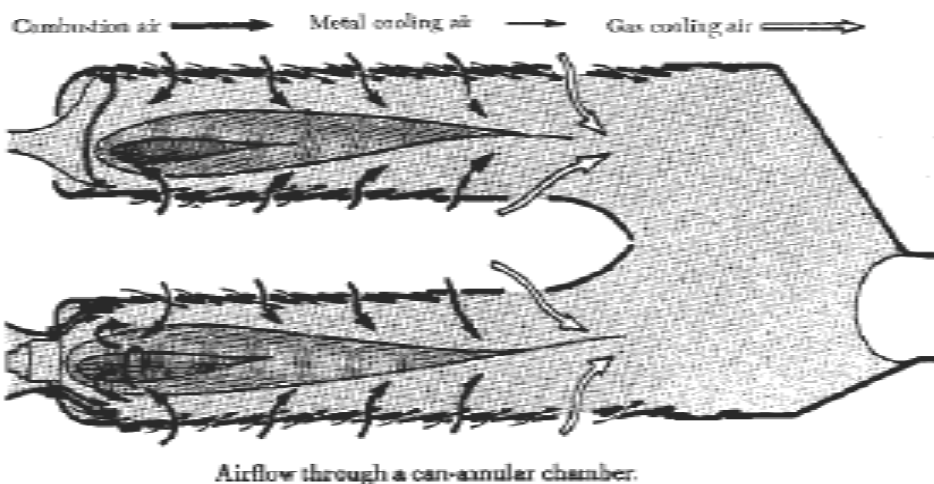
Ada dua jenis nosel bahan bakar yang dipakai pada macam macam jenis tabung pembakaran. Lebih lanjut dibicarakan tersendiri.

Ruang pembakaran anular terdiri dari rumah (housing) dan laras, yang mana laras ini terdiri dari gelang yang melingkar memanjang dan mengelilingi sisi luar rumah poros turbin (turbine shaft housing). Pada tabung pembakaran jenis anular dobel terdiri dari 2 tabung pembakaran yang satu di dalam yang lain atau letaknya konsentris, lihat gambar 42.

Busi penyala tabung pembakar jenis anular mempunyat jenis dasar yang sama yang dipakai pada tabung pembakar jenis can, walaupun begitu konstruksinya berbeda-beda. Biasanya ada dua buah busi untuk semua rumah tabung pembakar. Busi penyala harus cukup panjang menjulur dari rumah ke dalam anular luar dari tabung pembakar jenis anular dobel. Tabung pembakar jenis kan hasil dari Pratt dan Whitney dipakainya pada motor jet turbo arus aksial JT-3.

Kompresor jenis gelendong terpisah *(split compressor)* mempunyai dua.poros twin spool yang konsentris menghubungkan tingkat-tingkat turbin dengan kompresor masing-masing. Kompresor yang di depan dihubungkan dengan tingkat turbin yang belakang dengan poros

yang terpanjang. Karena poros ini ada di. dalam poros yang lain, maka ukuran garis tengah penampang poros lersebut ada terbatas, sebagai akibatnya jarak antara kompresor depan dan tingkat turbin belakang juga terbatas panjangnya. Untuk ini panjang tabung pembakar yang bardapat diikuti dengan Tabung pembakaran jenis anular kan *(can annular tupe)* dipasang radial sekeliling sumbu motor, sumbu yang dimaksud adalah sumbu poros penghubung kompresor dan tingkat turbin.

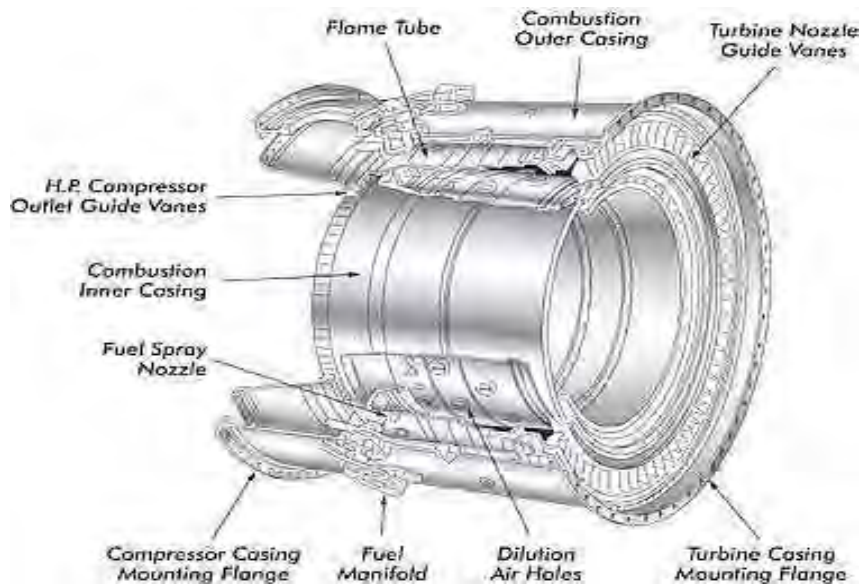
Tabung pembakaran dibungkus dalam selubung bundar baja yang Uapat di-buKi *(removable steel shroud),* yang membungkus seluruh bagian pembakaran. Pembakar dihubungkan dengan pipa-pipa api *(flame tubes)* untuk memudahkan proses menghidupkan motor. Fungsi pipa-pipa api ini seperti telah diterangkan pada tabung pembakaran jenis kan. Tetapi pipa-pipa api untuk jenis annular kan ini ada perbedaannya pada konstruksi detailnya.

Gambar 43. Pengaturan komponen tabung pembakaran kan. Anular

Gambar 44 . Arus udara lewat tabung pembakaran kan anular.

Gambar 43. memperlihatkan bahwa setiap tabung pembakaran terdiri dari laras yang berlubang-lubang memberi jalan masuk udara dengan jumlah yang teliti pada kecepatan dan sudut yang dikehendaki. Pada gambar dapat dilihat juga bahwa tabung pembakaran di tunjang pada ujung belakang oleh klem saluran pembuang *(oulet duct),* yang menguatkan hubungan dengan rangkaian nosel turbin. Pada sisi depan setiap tabung pembakaran lerlihal ada enam lubang kecil, pada lubang-lubang kecil itu dipasang enam buah nosel yang berhubungan dengan cluster nosel bahan-bakar *(fuel nozzel, cluster).*

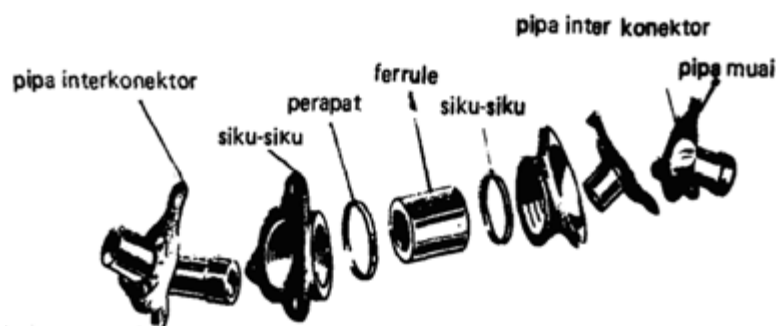
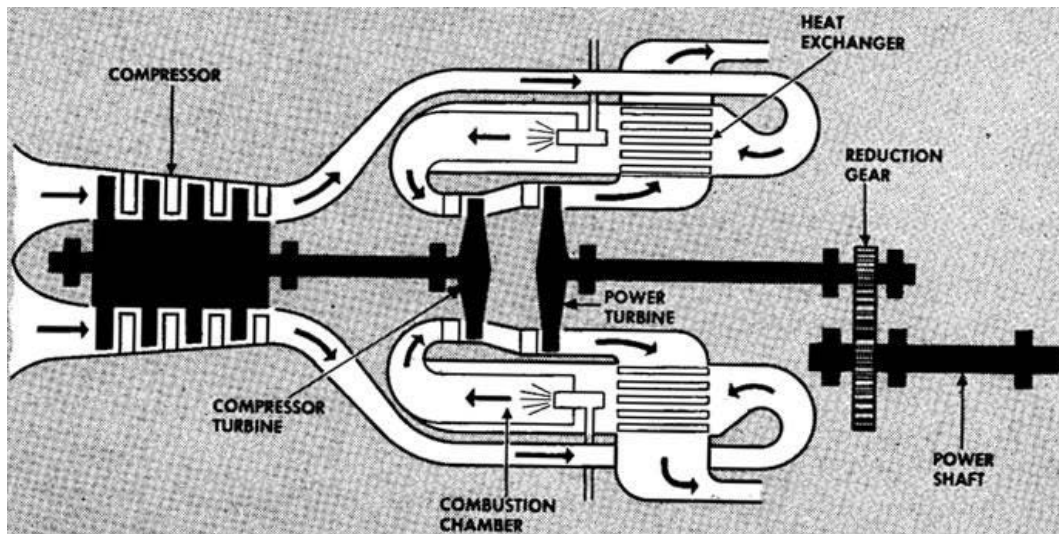
Disekeliling tiap nosel ada sudu pemuntir pancaran yang memberikan.gerakan memuntir pada pancaran bahan-bakar yang menghasilkan taburan bahan bakar yang halus, nyala apinya lebih baik dan efisien.

Sudu pemuntir aliran bahan-bakar mengerjakan dua fungsi yang penting yang menghsilkan penyebaran api yang memadai. Pertama kecepatan api yang tinggi yang menyebabkan pencampuran udara bahan bakar yang lebih baik dan menjamin terbakarnya bahan bakar dengan serempak. Kedua, kecepatan arus udara yang rendah yang berarah aksial menghilangkan puntiran api dengan cepat.

Mencarmpur dengan cara lain dapat ditimbulkan dengan memasang tirai kasar *(course screens)* dalam pengeluaran difuser *(diffuser outlet)* hal ini banyak dipakai pada motor arus aksial.

Tabung pembakaran jenis anular kan juga harus diperlengkapi dengan katup pengurasan bahan-bakar *(fuel drain valve)* pada dua atau lebih tabung pembakaran yang ada di bawah, guna mendapat pengurasan yang memadai dan men-cegah terbakarnya sisa bahan bakar pada waktu menghidupkan lagi motor itu.

Gambar 45. Bagian utama combustion chamber

Arus udara yang lewat lubang-lubang dan louver pada tabung pembakaran jenis anular kan ini, sama dengan arus udara yang lewat untuk tabung pembakaran jenis lain. Gambar 44. memperlihatkan arus udara pembakar, arus udara pendingin,masing-masing ditunjukan dengan anak-panah yang berlainan.

Pipa penghubung *(interconnector tube)* dipasang diantara tabung pembakaran yang berdekatan, dan berfungsi untuk penyebaran nyala api untuk tabung pembakaran jenis kan dan kan annular Tabung pcmbakaran jenis kan dapat bekerja sendiri-sendiri, tidak saling tergantung satu dengan yang lain, sehingga pipa penghubung seperti yang disebut di atas sangat dibutuhkan untuk jalan menjalarkan nyala api pembakaran pada saat menghidupkan motor.

Gambar 46. Pipa api Interkonektor pada jenis can.

Gambar 47. Aliran udara di reverse dengan maksud engine pendek.

Penjalaran api dapat diterangkan sebagai berikut : mula-mula api terjadi dalam tabung pembakaran yang mempunyai busi penyala bunga api *(spark igniter plug)*- Jumlah tabung pembakaran yang dilengkapi dengan busi penyala bunga api hanya dua. Api menerobos pipa penghubung dan menyalakan campuran babahan bakar yang siap dibakar dalam tabung yang terdekat, demikian seterusnya sehingga semua tabung pembakaran dijalari api dan semua tabung pembakaran mengadakan pembakaran.

urbin (turbine section)

Turbin adalah peralatan yang mengubah energi kinetik gas buang menjadi energi mekanik guna memutar kompresor dan kelengkapan. Ini adalah satu satunya tujuan turbin. Pada turbojet energi tekanan gas terserap 60% sedangkan pada turboprop sampai 90 % dari seluruh energi tekanan gas hasil pembakaran.

Jumlah yang tepat tentang energi yang diserap turbin ditentukan oleh beban turbin. Ini menjadi ukuran dan jenis dari kompresor, jumlah kelengkapan (accessories), bailing

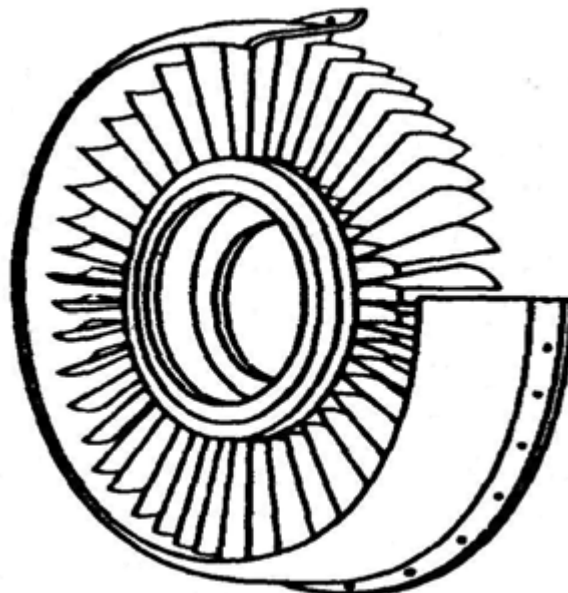
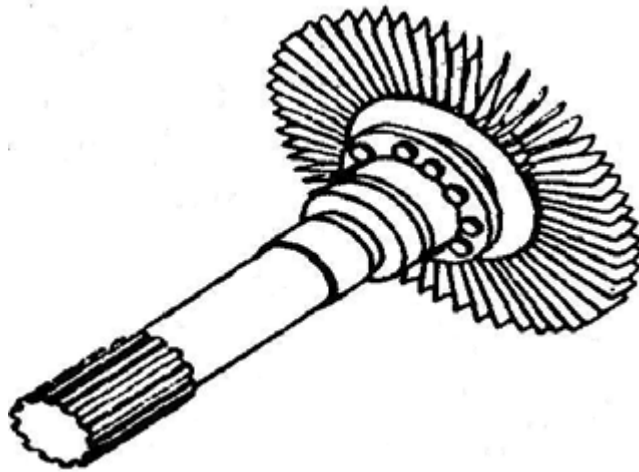
baling dengan roda gigi reduksi (reduction gear) , apabila jenis motor tersebut adalah dari jenis turboprop.

Bagian turbin pada motor turbojet terletak tepat dibelakang bagian pembakaran. Jadi langsung dibelakang pengeluaran tabung pembakaran (combustion chamber outlet).

Turbin terdiri dari dua bagian dasar yaitu: stator dan rotor. Kedua bagian ini dapat dilihat pada gambar 48 dan 49.

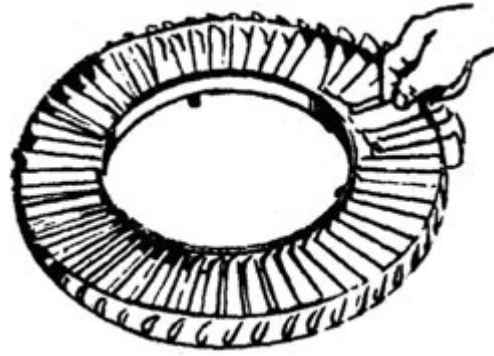
Elemen stator dikenal dengan beberapa nama, yaitu sudu sudu nosel turbin (turbine nozzle vanes), dan difragma nosel (diapharm nozzle). Sudu sudu nosel turbin dipasang tepat dibelakan tabung pembakaran di depan roda turbin.

Fungsi nosel turbin ada dua : pertama mangubah energi panas menjadi energi kecepatan pada arus udara dan gas pada sudu-sudu turbin. Jadi tugas nosel turbin mempersiapkan massa arus udara dan gas untuk memutar rotor turbin.

Sudu-sudu stasioner atu sudu-sudu nosel turbin terpasang melingkar dan merupakan suatu sudut yang membentuk suatu nosel kecil yang mangeluarkan gas dengan kecepatan yang tinggi sekali.jadi nosel mengubah macam-macam bagian energi panas dan energi tekanan menjadi energi kecepatan yang selanjudnya diubah menjadi energi mekanik oleh sudu-sudu turbin.

Gambar 48. Elemen stator

Gambar 49. Elemen rotor

Fungsi kedua nosel turbin membelokkan arus gas dengan sudut yang spesifik ke arah putaran sudu-sudu turbin, ini penting untuk mengarahkan gas padasudut yang baik terhadap arah putaran roda turbin sehingga energi kinetik gas tidak banyak hilang
Nosel turbin terdiri dari gelang luar dan gelang dalam yang diantaranya terpasang kuat sudu-sudu nosel. Jumlah sudu-sudu nosel berbeda beda tergantung dari jenis dan ukuran motor. Pada gambar nosel turbin di samping banyak dijumpai, dan pemasangan bisa dilepas lepas sedangkan gambar berikut nya nosel turbin dengan pemasangan turbin nosel yang di las.

Sudu-sudu nosel turbin yang dirakit antara gelang dalam dan gelang luar atau ring, cara perakitannya macam macam.walaupun bagian bagian agak sedikit beda dalam bentuk dan konstruksinya tapi ada persamaannya pada semua nossel turbin: yaitu bahwa sudu-sudu nosel punya kontruksi sedemikian sehingga dapat menampung pemuaian karena panas. Kalau tidak akan terjadi beberapa kerusakan atau bengkok.
Dengan adanya pemuaian karena panas, nosel turbin dapat dikompensasikan dengan beberapa metode, salah satu metode adalah diberi kelonggaran dalam pemasangan pada gelang dalam dan gelang luar.

Tiap sudu terikat dalam parit yang melingkar dalam gelang (shroud) yang sesuai dengan bentuk airfoil bilah itu. Parit sedikit lebih besar dari pada bilah untuk memberikan ikatan yang longgar. Gelang dalam dan gelang luar dibungkus oleh ring pendukung dalam (inner support ring) dan ring pendukung luar

Gambar 50. Rakitan nosel turbin dengan sudu sudu yangdapat dilepas

(outer support ring) yang meemberikan tambahan kekuatan dan kekokohan. Metode yang lain konstruksi pemasangan sudu-sudu untuk mneghindari pemuaian karena panas adlah dengan mengelas sudu-sudu tersebut dalam gelang dalam dan gelang luar atau dengan pengelingan. Usaha lain untuk memberikan kelonggaran untuk pemuaian karena panas yaitu dengan membagi gelang dalam dan gelang luar menjadi sekmen sekmen. Kelonggaran ini untuk menampung pemuaian karena panas.

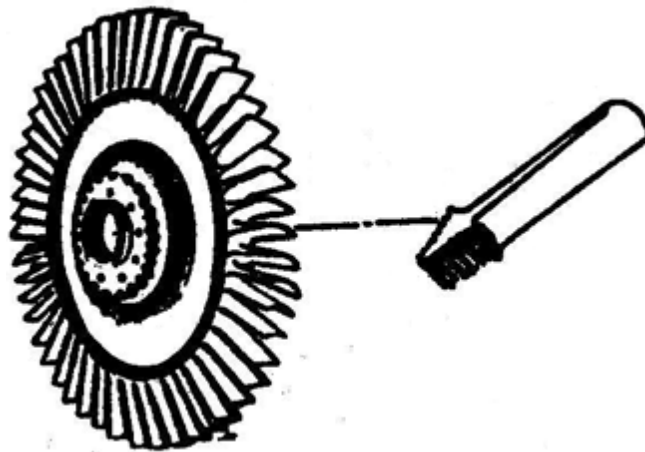
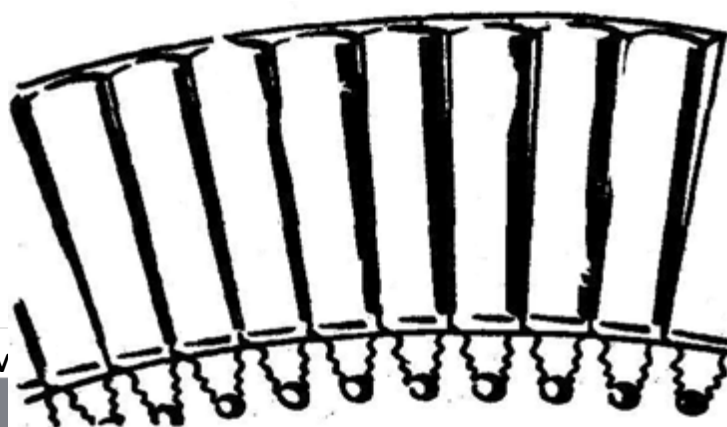
Elemen rotor dari bagian turbin terdiri dari poros (shaft) dan roda (whell) roda turbin dibahas secara dinamik, unit ini terdiri dari sudu-sudu yang dipasang pada piringan yang dapat berputar.piringan (disk) ini di putar dan dihubungkan dengan poros transmisi tenaga utama dari motor. Gas gas pancaran (jet gases) meninggalkan bilah bilah nosel turbin mendorong sudu-sudu turbin, menyebabkan roda turbin dapat berputar dengan kecepatan tinggi. Kecepatan putar yang tinggi ini menimbulkan beban sentrirugal yang besar pada roda turbin, dan pada saat yang sama karena naiknya suhu yang tinggi mengakibatkan menurunnya kekuatan bahan.

Sebagai ,akibat dari piilaran dan suhu yang tinggi motor harus dikendalikan sehingga turbin dapat berjalan dengan aman.

Piringan adalah bagian dimana sudu-sudu dipasangkan. Karena piringan ini dibaut atau dikeling pada poros, maka sudu-sudu dapat memindahkan/merubah energy yang didapat dari gas buang menjadi gerak putar pada poros. Piringan menyerap sebagian besar panas dari gas yang melewati antara sudu-sudu dan ditambah dengan panas yang merambat dari sudu-sudu turbin. Oleh karena terjadi perbedaan suhu dari bagian piringan yang jauh di dalam dan bagian luar, perbedaan suhu ini menyebabkan

tegangan. Beberapa cara untuk mengurangi tegangan, satu diantaranya ialah dengan memberikah udara pendingin cerat *(bleed cooling air)* pada permukaan piringan.. Cara lain untuk meringankan tegangan piringan ialah dengan diberikan alur *(groove)* yang sesuai dengan disain akar sudu-sudu. Celah ini ada diantara roda turbin dan sudu-sudu turbin dan juga diberi ruang untuk pemuaian piringan. Kelonggaran yang cukup diantara sudu-sudu dan tonjolan *(notch)* memberi kemungkinan ruang gerak sudu-sudu turbin bila piringan itu dingin. Selama motor beroperasi pemuaian piringan mengurangi kelonggaran. Ini menyebabkan sudu-sudu terikat erat pada piringan.

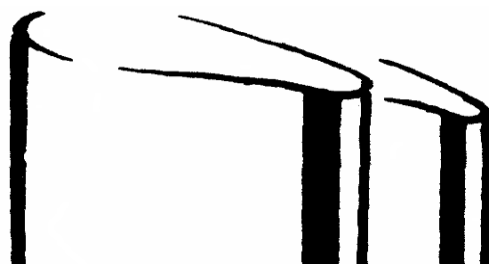
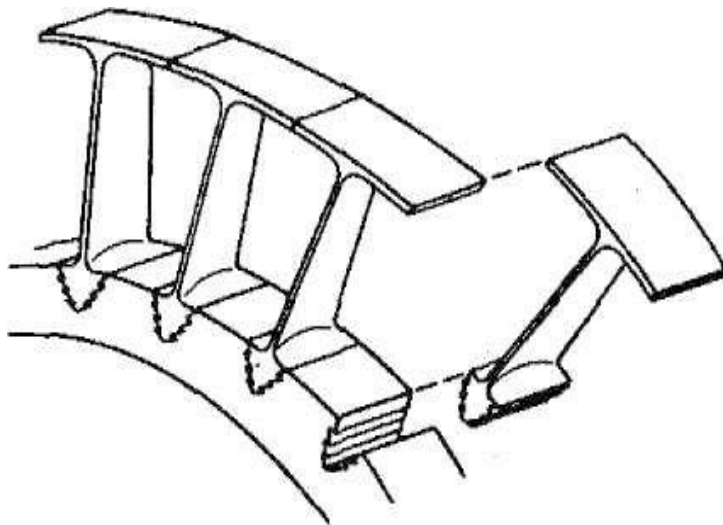
Poros turbin yang terlihat pada gambar 49 biasanya dibuat dari baja carmpuran. Poros ini harus dapat memindahkan atau menyerap beban puntir yang besar terutama untuk memutar kompresor arus aksial waktu start.

Ada beberapa metoda untuk menghubungkan poros dan piringan turbin. Satu metoda, poros dilas pada piringan turbin,

Gambar 51. Sudu sudu turbin disain pohon cemara

Gambar 52. metode pengelingan pasangan sudu sudu turbin

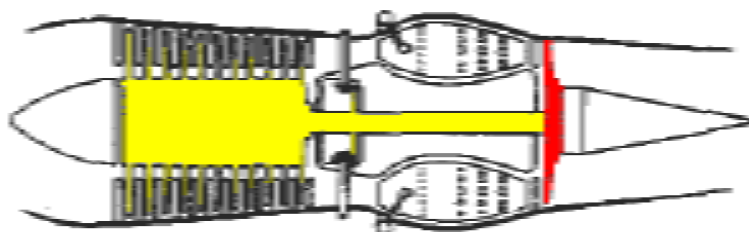
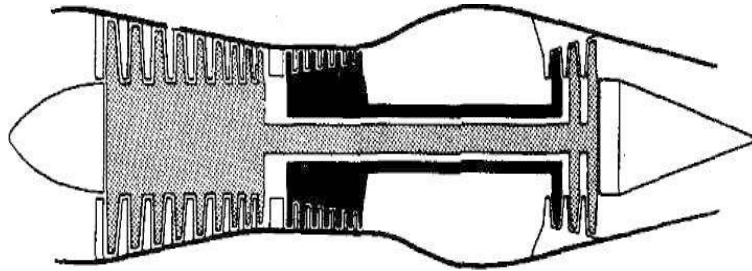
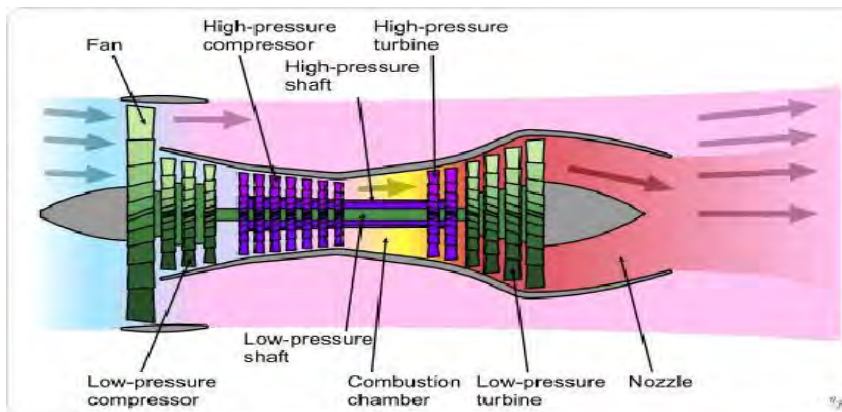
yang mana poros mempunyai bagian yang menonjol *(protrusion)* untuk menghubungkannya. Metoda yang lain ialah dengan baut. Metoda ini dipakai pada poros yang punya bagian yang berbentuk piringan kecil *(hub)* berlubang-lubang untuk baut, yang mana lubang lubang itu cocok benar dengan lubang-lubang pada piringan turbin.dan diikatkan pada lubang konis dalam piringan turbin. Dari dua metoda, metoda yang terakhir banyak digunakan. memakai paku keling untuk pemasangannya. Metoda *peening* untuk pemasangan sudu-sudu banyak cara. Satu dari banyak pelaksanaan yang umum tentang peening, ialah dengan membuat tonjolan yang kecil pada pinggiran (edge) atau ujung sudu sudu berbentuk pohon cemara sebelum pemasangan sudu sudu.

Sesudah sudu-sudu tersebut terpasang dalam piringan turbin, notch diisi dengan logam piringan turbin, yang diarahkan atau dialirkan dalamnya dengan tanda lekukan pons yang kecil.yang dibuat dekat notch. Alat yang dipakai untuk pekerjaan ini adalah seperti alat penitik *(center punch).*

Metoda lain untuk pemasangan sudu-sudu ialah dengan. membuat akar sudu-sudu sedemikian rupa sehingga ia terdiri dari elemen-elemen yang diperlukan untuk pemasangannya. Ini dapat dilihat pada gambar 53. Diperlihatkan pada gambar tersebut bahwa akar sudu-sudu punya penahan atau penghentian *(stop)* yang dibuat pada satu ujung akar, sehingga sudu-sudu dapat dipasang dan dilepas pada satu arah saja (lihat gambar 54) sedangkan pada ujung yang lain terdapat ujung yang tipis *(tang),* yang dapat dibengkok untuk menjamin genggaman sudu-sudu piringan turbin.

Sudu-sudu lurbin dibuat cara tuangan atau tempaan tergantung pada komposisi campurannya. Kebanyakan.sudu-sudu dibuat secara tuangan dengan teliti dan dirapikan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan.

Gambat 53. Bucket turbin metoda pengikatan tang pemasangan sudu sudu turbin.

Gambar 54. Melepas sudu turbin dari disk

.

a)

b)

c)

Gambar 55. Turbin dengan rotor

a.Turbo jet, Single stage rotor turbin

b.Turbojet, multiple stage rotor turbin.

c.turbin turbo fan, multiple stage rotor turbin.

Banyak turbin dengan sudu-sudu turbin yang terbuka ujungya. Jenis yang kedua kadang-kadang disebut turbin gelang *(shrouded turbine).* Sudu-sudu turbin yang digelangi, pada hakekatnya membentuk ban sekeliling luar. Ini memperbaiki efisiensi dan mengurangi getaran, dan berat. Turbin dengan roda turbin tunggal, tidak dapat menyerap cukup tenaga gas buang untuk memutarkan kompresor. Jadi untuk ini dibutuhkan tambahan tingkat pada turbin itu.

Tingkat turbin terdiri dari sederet sudu atau nosel yang tetap *(stationary)* diikuti oleh sederet sudu-sudu turbin. Menurut pengalaman motor turboprop dengan 5 tingkat turbin menghasilkan efisiensi yang tinggi. Perlu diingat bahwa dengan tidak memperhatikan jumlah roda yang diperlukan untuk memutar komponen motor, turbin nosel selalu ada di depan setiap roda turbin.

Dalam pembicaraan tentang tingkat turbin, penggunaan lebih dari sebuah roda turbin tentu akan menyebabkan beban putar yang lebih besar.

Pemakaian turbin-turbin tingkat ganda (multiple-stage-turbine) akan menguntungkan bila dihubungkan dengan rotor kompresor-ganda (multiple-compressor-rotor).

Dalam turbin-rotor-tunggal (single-stage rotor turbine) seperti gambar 55-a tenaga yang dihasilkan oleh sebuah rotor dan semua bagian motor yang harus diputar digerakkan oleh roda turbin itu. Ini diperlukan pada motor yang mengutamakan berat yang ringan dan konstruksi yang ringkas.

Pada turbin rotor rangkap (multiple-rotor turbine) tenaga dihasilkan oleh dua atau lebih rotor. Ini memungkinkan untuk setiap rotor-turbin menggerakkan bagian terpisah dari motor. Sebagai contoh turbin rotor-tiga (triple-rotor turbin) dapat diatur demikian sehingga rotor turbin yang pertama menggerakkan separoh bagian belakang kompresor dan menggerakkan alat kelengkapan. Rotor kedua menggerakkan separuh bagian depan kompresor dan rotor turbin yang ke tiga memutar baling baling.

Turbin rotor ganda seperti gambar 55-b disebut juga turbin dengan kompresor gelendong terpisah *(split-spool compressor).*

Rumah turbin *(turbine casing)* membungkus roda-roda turbin, rangkaian sudu nosel dan memberi tempat penyangga secara langsung maupun tidak langsung pada stator turbin. Untuk menghubungkan rumah ruangpembakaran dan rangkaian kerucut pembuangan *(exhaust cone assembly)* dipergunakan flens-flens *(flanges)* yang diikatkan dengan baut.

Gambar 55-b dapat dilihat turbin tingkat satu dengan poros tunggal dan turbin tingkat dua dengan sistem poros tunggal, Turbin pertama disebut turbin tekanan tinggi (*high pressure turbine)* dan turbin kedua dan tiga tturbin tekanan rendah. (low pressure turbine). Setiap turbin mempunyai bagian yang disebut sudu-sudu pengarah yang telap *(stationary guide vanes)* dipasang di bagian depan masing-masing roda turbin.

Gambar 55-c adalah turbine tiga tingkat dengan poros tiga buah, masing masing turbin memiliki shaft untuk memutarkan kompresor. Turbin paling depan memutarkan as

kompresor tekanan tinggi (n1), turbin kedua (ditengah) memutarkan kompresor tekanan sedang (n2) dan turbin paling belakang memutarkan as kompresor tekanan rendah (n3).

Konstruksi Sudu Turbine

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa energi panas hasil pembakaran campuran udara bahan bakar berubah menjadi energi kinetis saat melewati sudu turbin. Agar sudu turbin dapat efektip menyerap energi kinetis menjadi eneri mekanik mulai dari pangkal (hub) sampai dengan ujung (Tip) maka sudu turbin tersebut di puntir. Melalui puntiran tersebut maka stagger angle yang terjadi pada ujung sudu turbin menjadi lebih besar dibandingkan pada bagian pangkal (lihat gambar 57). Dengan bentuk tersebut maka energi yang di serap oleh sudu turbin mulai dari bagian pangkal sampai ujung menjadi merata.

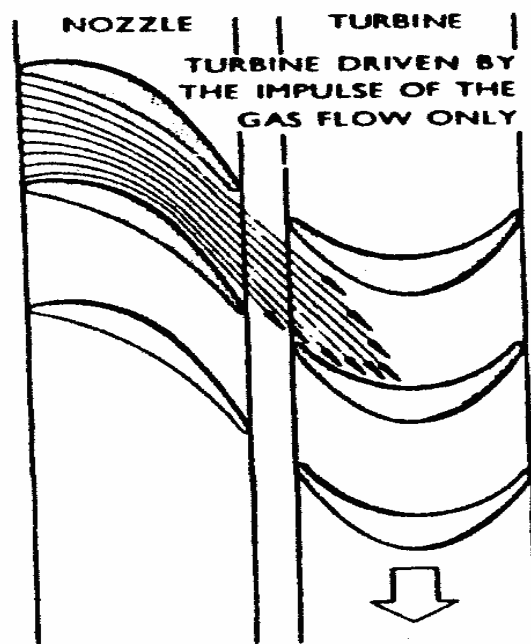
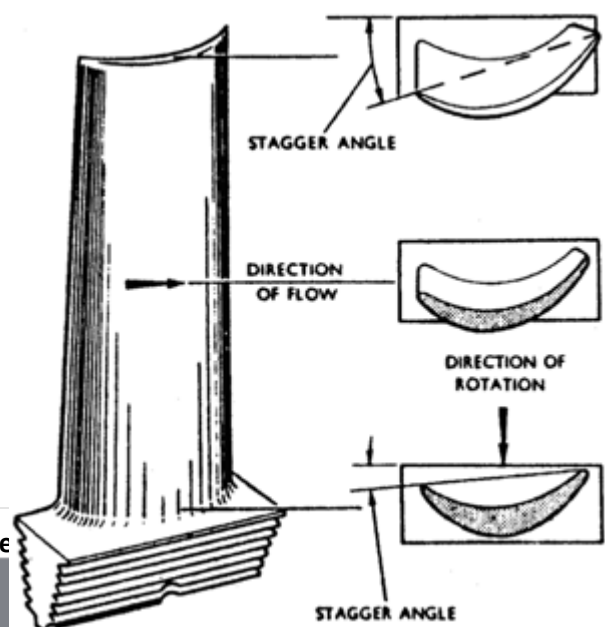
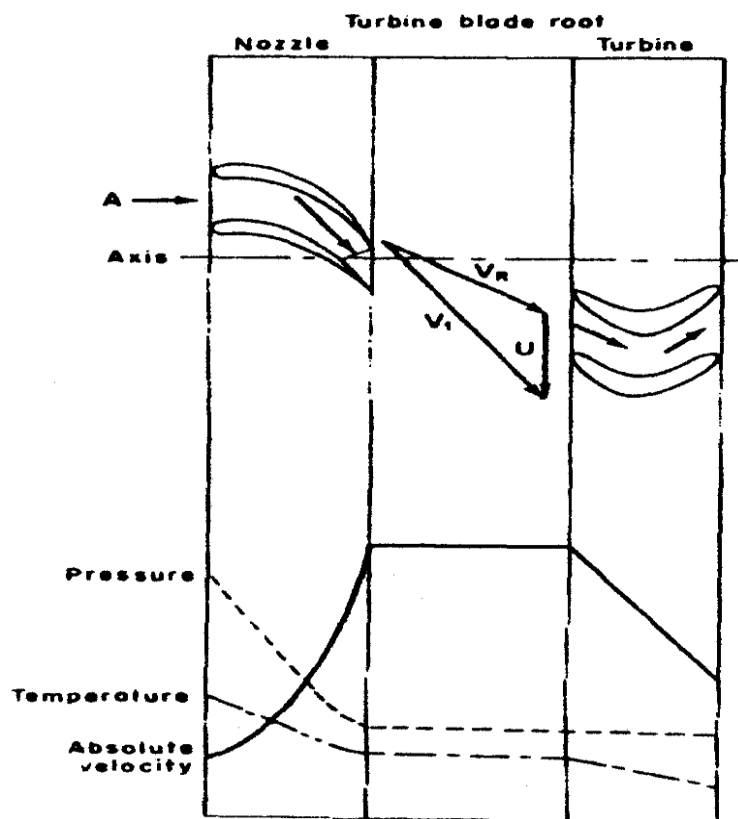
Dalam segala hal, sudu turbin harus mamapu menahan tumbukan gas panas, pada tekanan dan kecepatan yang tinggi. Sesuai konstruksi sudu turbin, maka sudu turbin dapat dibagi menjadi tiga tipe, yaitu:

1) Impulse turbine
2) Reaction turbine
3) Reaction-Impulse turbin

(1). Turbin Impulse

Karakteristik turbin impulse adalah bahwa semua energi tekanan gas dapat dirubah menjadi energi kinetic. Sesuai gambar 56 pada daerah nosel (stator) kecepatan gas naik dengan cepat (karena bentuk dibuat Convergent), selanjutnya kecepatan gas tersebut berkurang sepanjang rotor. Rotor berputar semata mata karena tekanan tumbuk gas yang keluar dari stator. Volume saluran masuk dan saluran keluar rotor adalah sama besar. Jenis turbin impulse ini cocok dipasang pada turbin turboprop. Energi gas setelah keluar dari turbin ini sangat rendah, tidak dapat digunakan lagi untuk memutarkan turbin lain atau semburan gas dengan kecepatan tinggi ke belakang untuk memperoleh reaksi berupa gaya dorong ke depan. Bentuk sudu turbin tersebut biasanya disebut dengan bulan sabit.

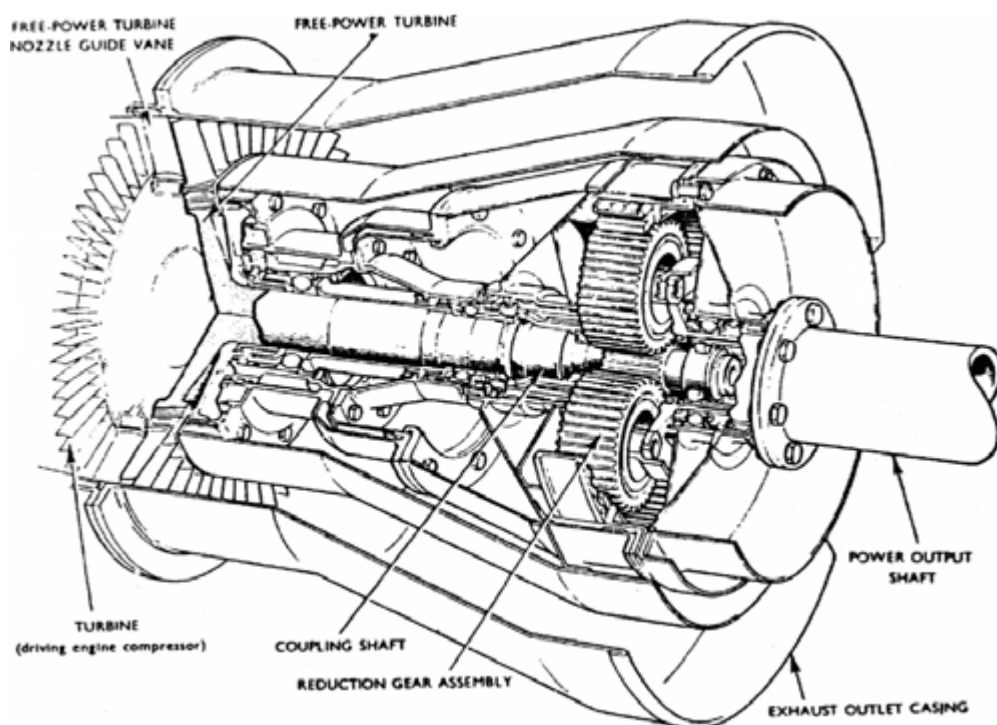
(2). Turbin reaksi

Sebagaimana pada turbin impulse, gas dari ruang pembakaran menerobos nosel barisan pertama, pada stator ini kecepatan naik sementara tekanan berkurang. Gas dari stator tersebut menerobos sudu rotor. Rotor dengan bentuk convergent kecepatan keluar gas menjadi naik dengan cepat .Jadi bentuk stator dan rotor sama sama convergent.

Gambar 56. Turbin Impulse

Gambar 57. Stagger angle pada turbin

Gambar 58. Vektor analisis

Penambahan kecepatan gas keluar rotor merupakan aksi, reaksinya rotor turbin berputar ke

arah yang berlawanan. Sudu turbin berputar semata mata karena adanya reaksi pancaran gas yang keluar melalui rotor turbin. Turbin reaksi ini cocok dipasang pada turbojet, karena gas keluar melalui rotor masih memiliki energi kinetis yang cukup tinggi.

(3) Turbin Impulse Reaksi

Kenyataannya konstruksi stator dan rotor turbin pesawat terbang tidak ada yang 100 % impulse atau 100 % reaksi, adanya adalah gabungan antara impulse dan reaksi. Agar sudu turbin menghasilkan kerja yang merata mulai dari pangkal (root) sampai ujung (tip) sudu turbin, konstruksinya pada bagian pangkal lebih cenderung impulse, sementara pada bagian ujung cenderung reaksi (sudu turbin di puntir, stagger angle pada tip lebih besar), lihat gambar 57. Dengan demikian konstruksi stator dan rotor berbentuk convergen.

Gambar 59. Jenis free-power turbine

Rotor dan stator turbin selalu berhubungan dengan gas panas, dan komponen ini yang paling menderita akibat panas. Pembakaran memang terjadi dalam ruang pembakaran, akan tetapi dinding ruang pembakaran selalu dilapisi oleh udara pendingin, sehingga material ruang pembakaran terlindungi oleh panas hasil pembakaran campuran udara bahan bakar. Sementara sudu turbin, selain ia berhubugan langsung dengan campuran udara dingin dari ruang pembakaran dengan gas panas, juga sudu turbin (rotor) mengalami gaya centrifugal akibat perputaran turbin.

Untuk turbin yang beroperasi pada tekanan tinggi dan dengan temperature tinggi (temperatur gas antara 2000ºF s/d 2300ºF), perlu dilakukan pendinginan terhadap sudu turbin untuk mempertahankan kekuatan sudu turbin.

Ada tiga tipe cara pendinginan sudu turbin yang digunakan, dan bentuk pendinginan yang dipakai tergantung kepada tingkat suhu gas yang beroperasi disekitar sudu turbin tersebut. Tipe tersebut adalah:

1. Convection
2. Impingement
3. Film cooling

1.Convection cooling.

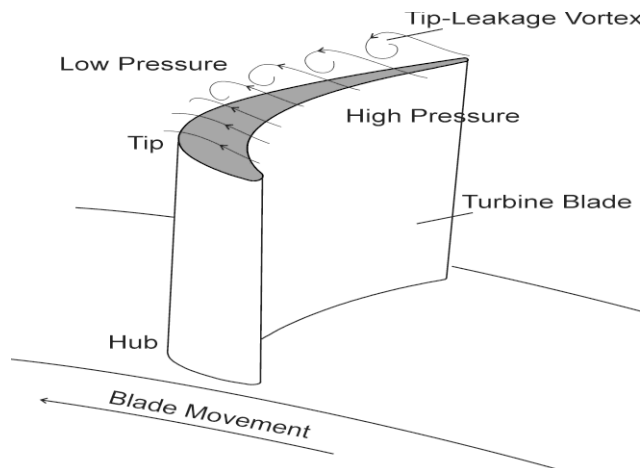
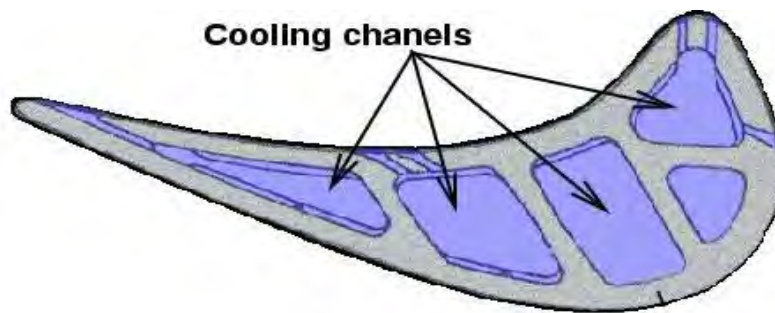
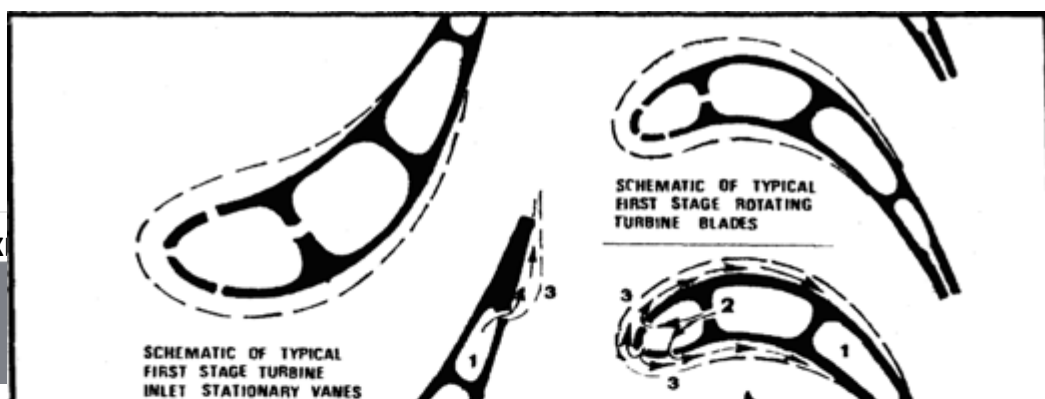
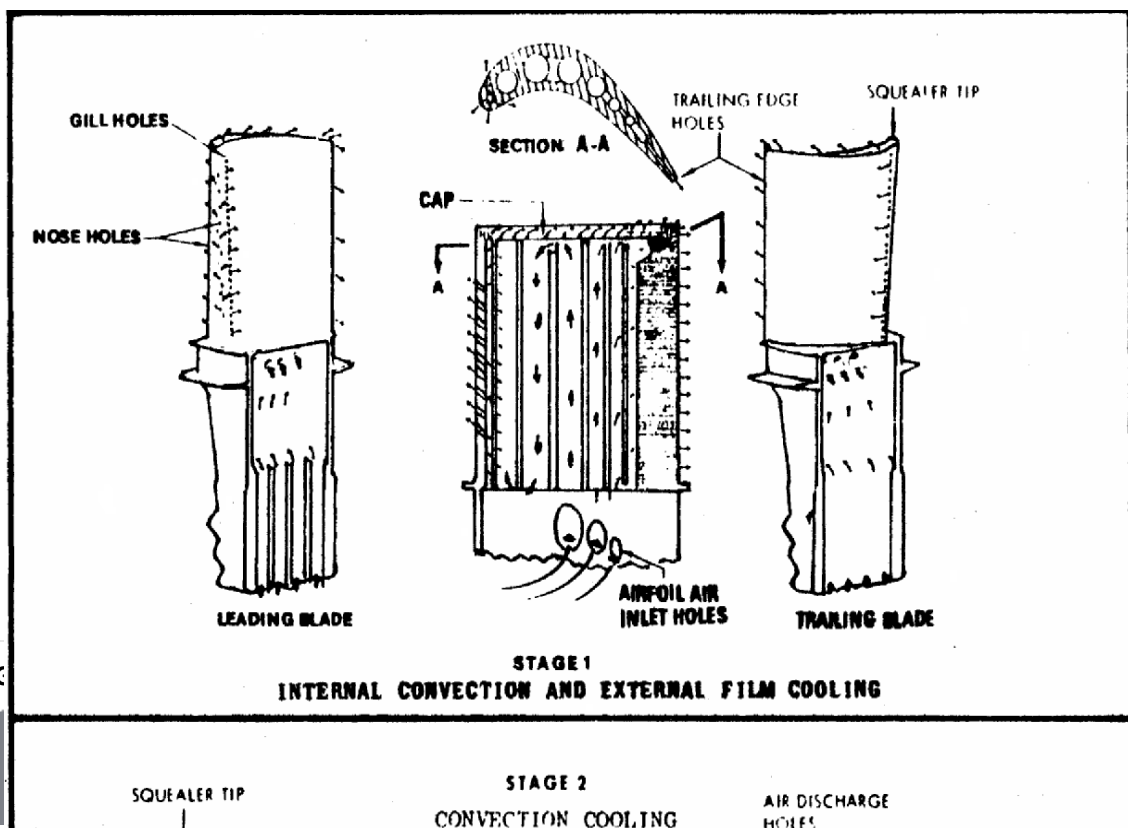
Udara pendingin di alirkan melalui lubang pada bagian pangkal sudu turbin, kemudian lubang tersebut berkelok kelok dalam sudu turbin menuju ujung atau menuju traililng edge sudu turbin tersebut. Tipe pendinginan sudu turbin semacam ini cocok jika suhu gas yang beroperasi disekitar sudu turbin rendah.

2) Impingement cooling

Impingement cooling adalah hampir sama dengan vonvection cooling, namun saluran udara pendingin tersebut tidak langsung keluar melaui ujung atau trailing edge, akan tetapi aliran udara tersebut di arahkan kembali menuju pangkal, lalu kembali menuju ujung atau trailing edge dari sudu turbin. Tentu keluarnya udara tersebut diupayakan melalui bagian yang krtitis, misalnya bagian leading edge dan tariling edge.

3) Film cooling

Film cooling adalah suatu proses dimana udara pendingin memisahkan antara gas panas dengan kulit luar sudu turbin. Dari ke tiga tipe tersebut maka film cooling adalah yang paling efektip untuk melindungi sudu turbin dari gas panas.

Lapisan udara pendingin tersebut keluar sedemikian rupa melalui sederetan lubang di bagian leading edge.Aliran udara disekitar blade dan aliran udara pendingin perhatikan gambar 16.62 s/d 17.65.

Gambar 60. Pusaran udara pada ujung turbin

Gambar 61. Contoh lubang pendingin

Gambar 62. Aliran udara pendingin dalam sudu turbin

Gambar 63. Jenis jenis pendinginan sudu turbin

E n pembuangan (exhaust section)

Bagian pembuangan dari motor jet terdiri dari beberapa komponen, masing masing berfungsi sendiri sendiri. Walaupun demikian secara umum , bersama sama mempunyai satu fungsi. Bagiankang, mencegah turbulensi dan memberikan kecepatan tinggi kepada gas keluar dari bagian pembuangan

Dalam melakukan beberapa fungsinya , tiap komponen berpengaruh pada arus gas dalam cara yang berbeda beda.

Bagian pembuangan berada tepat dibelakang bagian turbin dan terakhir . Komponen kompenen bagian pembuangan ini termasuk kerucut pembuangan (exhaust cone) , pipa

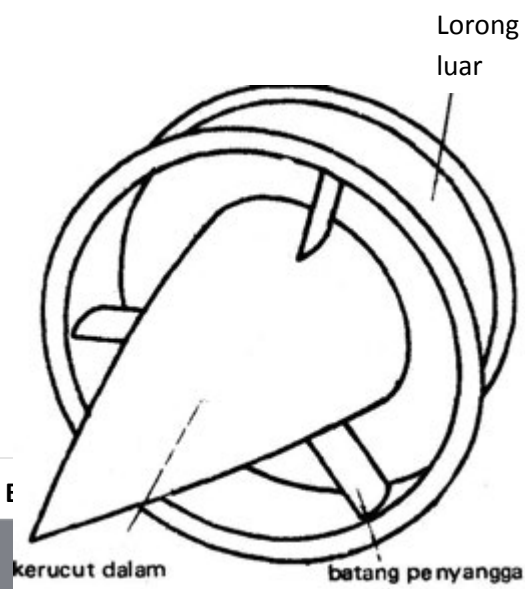
ekor (tail pipe) ini bila diperlukan . Dan nosel pembuangan (exhaust nozzle) atau nosel pancaran (jet nozzle).

Kerucut pembuangan menyatukan atau mengumpulkan arus gas yang akan dipancarkan, gas mana berasal dari turbin bucket dan selanjutnya menjadi pancaran. Dalam melakukan ini , kecepatan gas berkurang dan tekanan bertambah. Ini diakibatkan oleh laluan gas yang berbentuk divergent antara saluran luar (outer duct) dan kerucut dalam (inner cone) laluan ini berbentuk annular yang membesar kebelakang.

Kerucut pembuangan terdiri dari saluran luar dan kerucut dalam, 3 atau 4 batang penyangga (struts) kosong atau fin dan kadang kadang sejumlah batang pengikat (tie rod) untuk membantu penyangga memegang kerucut dalam dari saluran luar (outer duct).

Saluran luar biasanya terbuat dari baja tahan karat (steinless steel) dipasang pada flens belakang peti turbin. Elemen ini mengumpulkan gas buang dan meneruskannya langsung atau lewat pipa buang (tail pine) ke nosel pancaran (jet nzzle). Beberapa motor, pipa ekor tidak dipakai.

Batang penyangga radial sebetulnya dibutuhkan bila motor tersebut dipasang pada necelle, dibawah wing atau pada fuselage bagian belakang.

Dalam beberapa hal batang pengikat tidak dibutuhkan untuk menyangga kerucut dalam, bila demikian batang penyangga yang kosong menjadi penyangga satu satunya untuk kerucut dalam,lihat gambar.64.

Gambar 64. Kolektor pembuangan dengan batang penyangga yang di las.

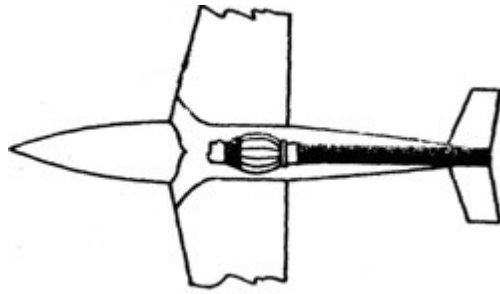
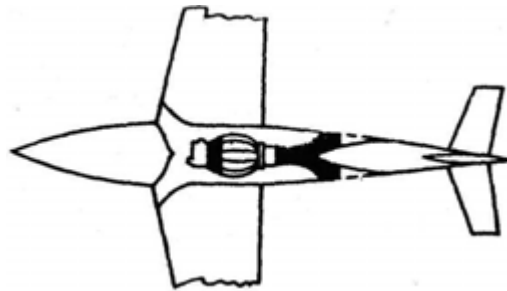
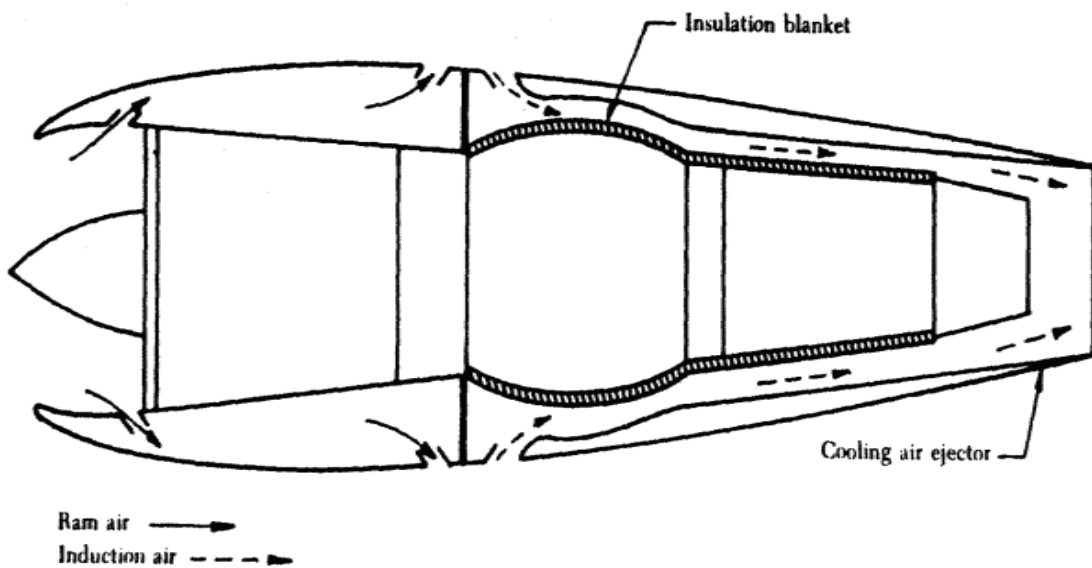
mempunyai 2 fungsi. Tidak hanya menyangga kerucut dalam lorong pengeluaran, tetapi juga melakukan sesuatu yang penting yaitu meluruskan arus gas buang yang sebelumnya mempunyai arus yang memuntir searah jarum jam dengan sudut kira kira 45 derajat meninggalkan turbin.

Dalam beberapa bentuk lubang kecil dibuat pada ujung keluar kerucut dalam. Lubang ini untuk udara penddingin yang disirkulasikan dari ujung belakang kerucut, dimana tekanan gas relative tinggi kedalam bagian dalam kerucut untuk meniup permukaan roda turbin.

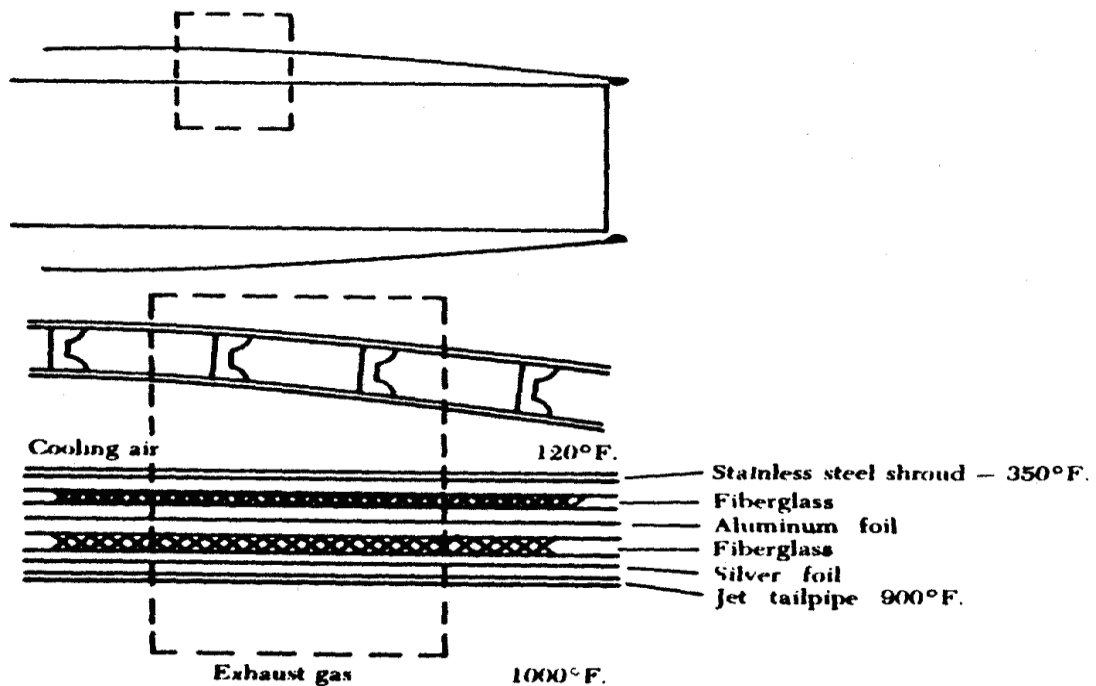
Kerucut pembuangan adalah batasan komponen komponen dasar motor gas turbin. Sedangkan pipa buang dan nosel jet biasanya termasuk komponen rangka pesawat

Pipi ekor dipakai pertama tama untuk menghantar gas buang keluar dari rangka pesawat.Pemakaian pipa buang menimbulkan atau mendorong kebrhasilan atau efisisensi kerja motor dalam bentuk kehilangan panas dan gesekan dalam saluran. Kehilangan kehilangan ini mempengaruhi kecepatan akhir gas buang selanjutnya juga mempengaruhi besarnya gaya dorong.

Pipi buang kebelakang dibatasi oleh ebuah nosel jet. Kebanyakan motor memakai pembuangan langsung dan tunggal (single direct exhaust) lihat pada gambar 65. Pembuangan yang lain adalah pembuangan keluar ganda dua (dual exit exhaust). Terhadap pembuangan yang kedua ini seperti pada gambar 66. Ada keuntungannya yaitu berat konstruksi lebih ringan, sederhana dan kehilangan dalam saluran minimum.

Pipa buang biasanya direncanakan sedemikian rupa sehingga ia bisa bersifat fleksibel. Kebutuhan ini tergantung dari panjangnya pipa buang. Untuk pipa buang yang cukup panjang harus dikonstruksikan dengan konstruksi lekukan (bellow) yang dapat memudahkan untuk pemasangan dan perbaikan, dan dapat menerima pemuaian karena panas .

Gambar 65. Pipa buang tunggal

Gambar 66. Pipa buang terbagi

Gambar 67. Selimut penyekatan sistim pengeluaran

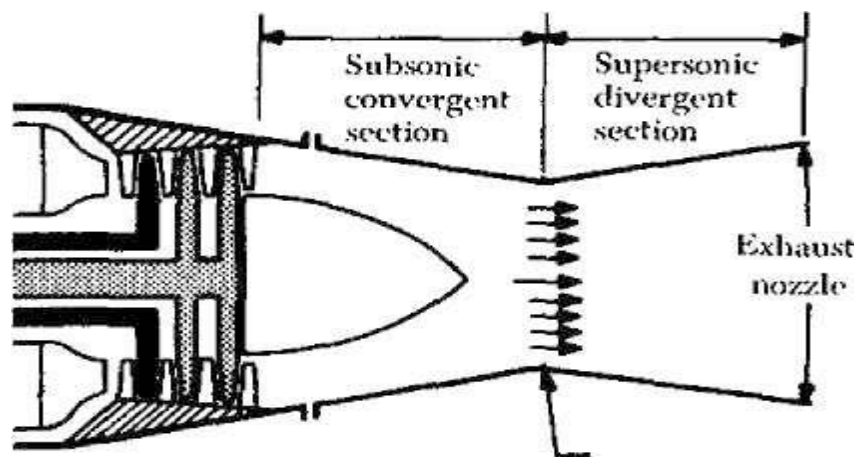
Dengan demikian dapat menghilangkan tegangan dan bengkok -bengkok yang mungkin terjadi.

Radiasi atau pancaran panas dari kerucut pembuangan (exhasut cone)dan pipa buang dapat merusak komponen rangka sekeliling unit ini. Untuk menghindari keryusakan ini diperlukan adanya penyekatan (insulation).

Gambar 68.Sistem penyekatan dengan lapisan

Ada beberapa metode untuk melindungi struktur rangka .Dua metode yang banyak dipakai ialah selimut penyekatan (insulation blanket) dan gelang penyekatan (insulation shroud) .

Selimut penyekatan diperlihatkan dalam gambar sebelah ini terdiri dari beberapa lapis lembaran aluminium (aluminium foil) masing masing dipisahkan oleh lapisan fiber glass atau sejenisnya .Walaupun selimut penyekat ini melindungi rangka dari radiasi panas, tetapi selain itu jug berguna untuk mengurangi kehilangan panas dari sistem pembuangan

Pengurangan kehilangan panas mempertinggi kemampuan motor.

Selimut terdiri dari fiber glass bahan pengantar yang lemah dan lembaran aluminium (aluminium foil) sebagai pelindung radiasi.

Gambar 69. Pipa pembuangan untuk supersonic

F RANGKUMAN

Proses kerja motor turbin gas sama dengan motor piston hanya bagian-bagian proses ini dilakukan dalam tempat yang terpisah sehingga masing-masing bagian proses tidak saling mengganggu. Proses ini terdiri dari pemasukan, kompresi, pembakaran campuran bahan-bakar udara, pengadaan kerja dan pembuangan. Pada turbojet pengadaan kerja dihasilkan oleh pancaran gas pada bagian pembuangan.

Bagian-bagian motor turbin gas

1. Pemasukan udara (air inlet)
2. Bagian kompresi (compression section)
3. Bagian pembakaran (combustion secton)
4 .Bagian turbin (turbin section)
5. Bagian pembuangan (exhaust section)
6. Bagian perlengkapan (accessory section)
7.Sistem-sistem starting, pelumasan (lubrication), penyediaan bahan bakar (fuel supply) dan

sistem- sistem lain untuk tujuan bantuan (auxiliary purposes),

Fungsi pemasukan udara ialah menyediakan sarana untuk menerima udara dari depan motor yang terhisap oleh motor atau tertumbuk oleh bagian pemasukan udara dengan tekanan tumbuk (ram pressure) semaksimum mungkin dapat diterima oleh pemasukan udara. Selanjutnya meneruskan ke bagian kompresor dengan hambatan yang sekecil-kecilnya.

Jumlah udara yang masuk ke dalam motor tergantung dari jumlah putaran motor, kecepatan pesawat terbang dan density udara.

Pintu masuk udara terdapat di hidung (nose inlet), disayap (wing jnlet), berbentuk anular (annular inlet), dibawah badan (scoop inlet), tersembunyi di sisi badan pesawat (flush inlet),.

Jalan masuk ada dua macam : tunggal *(single entrance)* dan terbagi *(divided entrance).*

Fungsi bagian kompresi memberikan udara dengan jumlah yang cukup ke bagian pembakaran dan menghasilkan udara cerat *(bleed air)* untuk kabin pencair es dan pencegah terjadinya es pada sayap dan bidang pemantap (stabilizer) ekor pesawat terbang, menjalankan motor, sistem *control booster servo,* penggerak instrumen dan penggerak pembantu. \

Jenis kompresor : sentrifugal dan aksial. Bagian utama kompresor sentrifugal adalah impeler, difuser dan manipol kompresor. Sentrifugal kompresor memampatkan udara dengan kompresor yang maksimum mempunyai 2 tingkat. Bagian utama kompresor aksial adalah rotor dan stator. Rotor terdiri dari drum atau piringan yang se-kelilingnya terpasang sudu-sudu. Stator di dalamnya terpasang sudu sudu.

Sudu-sudu pada rotor dan sudu-sudu pada stator berpasang-pasangan memampatkan udara secara bertingkat. Tiap tingkat tekanan udara naik 1,25 kali lebih tinggi. Jumlah tingkat 10 sampai 16 tingkat. Untuk motor turbin gas yang besar tingkat-tingkat itu dibagi dalam 2 sampai 3 bagian. Kompresor ini disebut kompresor gelendong ganda dua dan ganda tiga. *(twin-spool compressor dan triple spool compressor),* masing-masing bagian rotor itu diputar oleh turbin tersendiri dengan poros-poros yang tersusun konsentris.

Ada keuntungan dan kerugian pada kedua jenis kompresor, untuk pesawat terbang yang besar banyak dipakai kompresor aksial.

Fungsi bagian pembakaran adalah mencampur bahan-bakar udara sehomogen mungkin, membakar campuran dengan efisien, mendinginkan hasil pembakaran dan meneruskan gas ke turbin dengan arah yang benar. Pada umumnya konstruksi bagian pembakaran terdiri dari peti, silinder dalam yang berlubang-lubang dengan bentuk macam-macam, sistem injeksi bahan bakar, perlengkapan penyaaan mula dan sistem pembuangan atau pengurasan bahan bakar yang tidak terbakar. Jenis labung pembakaran : Kan, Anular dan Anular Kan,

Fungsi bagian turbin ialah menghasilkan energi mekanik dari energi kinetik gas guna memutar kompresor dan baling-baling pada motor turboprop dan hanya kompresor pada motor turbojet.

Konstruksi turbin hampir sama dengan kompresor aksial yaitu terdiri dari rotor dan stator. Rotor terdiri dari poros dan roda turbin. Poros dihubungkari dengan kompresor, Roda turbin terdiri dari piringari *(disk)* dan sudu-sudu. Stator terdiri dari sudu-sudu stator maupun sudu-sudu roda turbin harus dikontruksikan supaya dapat menampung pemuaian, yang disebabkan oleh suhu gas yang tinggi itu.

Fungsi bagian pembuangan : melangsungkan arus gas panas ke belakang mencegah turbulensi dan menimbulkan kenaikan kecepatan pada gas menjadi berkecepalan tinggi keluar dari bagian pembuangan.

Penampang melintang bagian pengeluaran adalah anular sedangkan bentuk penampang memanjang lubang laluan gas berbentuk konvergen untuk kecepatan subsonik dan bentuk konvergen divergen untuk kecepatan supersonic, lihat gambar 17.71

Bagian utama pembuangan terdiri dari : kerucut pembuangan, pipa buang (bila diperlukan) dan nosel pembuangan. Strut adalah penyangga kerucut dalam dan mengubah arah- yang semula memuntir 45° diubah menjadi sejajar poros. Lubang pembuangan umumhya tunggal tapi ada juga yang ganda dua.

Kerucut bersuhu tinggi, untuk mencegah komponen yang lain tidak rusak, maka diperlukan penyekatan *(insolation),* Ada 2 macam penyekatan yaitu : Selimut penyekatan. *(insolation blanket)* dan gelang penyekat *(insolation shroud*

Pertanyaan

1. Sebutkan persamaan dan perbedaan proses kerjamotor piston derigan motor turbin gas!
2. Sebutkan bagian-bagian utama motor turbin gas!
3. Sebutkan 2 jenis motor turbin gas sehubungan dengan cara penempatan udara dalam kompresor.
4. Apakah fungsi bagian pemasukanudara ?

5. Apakah akibatnya apabila suatu kotoran yang cukup keras masuk ke dalam pemasukan
udara motor turbi gas jenis arus aksial?
6. Faktor-faktqr apakah yang menentukan jumlah udara yang masuk ke dalam motor turbin
gas?
7. Jenis saluran masuk yang mana banyak dipakai pada pesawat terbang . transport.?
8. Apakah fungsi bagian compressor? Sebutkan jenis compressor !
9. Sebutkan bagian utama kompresor sentrifugal dan terangkan fungsi masing-masing bagian utama kompresor tersebut!
10. Sebutkan bagian utama kompresor aksial dan terangkan fungsi masing-masing bagian
kompresor tersebut.!
11. Sebutkan dua macam konstruksi pemasangan sudu-sudu pada piringan atau drum
12. Berapa prosen kenaikan tekanan tiap tingkat pada kompresor jenis aksial ?
13. Berapa tingkat maksimum yang Anda ketahui?
14. Apakah keuntungan dan kerugian kompresor jenis sentrifugal?
15. Apakah keuntungan dan kerugian kompresor jenis aksial?
16. Apakah yang dimaksud kompresor dengan rotor gelendong tiga, pada kompresor jenis aksial ?
17. Jelaskan fungsi bagian pembakaran !
18. Sebutkan 4 syarat untuk, mendapatkan pembakaran yang efisien !
19. Sebutkan bagian utama dari bagian pembakaran !

20. Sebutkan tiga jenis ruang pembakaran !
21. Jenis tabung pembakaran yang mana dipakai pada motor'turbin gas jenis arus sentrifugal ?
21. Apakah fungsi bagian turbin?
22. Mana lebih besar tenaga yang dihasilkan oleh bagian turbin pada motor turbo jet dan turboprop ?
23. Apakah fungsi bagian pembuangan ?,.
24. Apakah fungsi dari "batang penyangga (strut) ?
25. Desain yang mana konstruksi laluah bagian pembuangan untuk pesawat dengan kecepatan sub sonic?
26. Sebutkan dua macam konstruksi pada bagian guna mencegah kerusakan bagian lain yang diakibatkan pancaran panas !
27. Untuk pesawat dengan kecepatan yang mana memakai konstruksi bagian pembuangan dengan desain konvergeri divergen ?
28. Apakah nama kontruksi untuk pipa buang yang cukup panjang dan apakah kegunaan
kontruksi itu ?
29. Bahan-bahan apakah yang digunakan sebagai bahan penyekat pada~selimut penyekat pipa buang ?
30. Berapa derajat Fahrenheit suhii yang terjadi pada gas buang, pipa buang pancaran, gelang baja tahan karat dan udara pendingin pada pipa buang ?

Bantalan(bearing)

Bantalan adalah semua permukaan yang menyangga atau di sangga oleh permukaan yang lain dan saling bergesekan. Pergesekan ini dapat berupa pergesekan lurus (maju-mundur) atau pergesekan berputar(radial). Beban yang diterima oleh bantalan dapat berupa aksial (thrust load), atau beban radial.

Fungsi

Bantalan yang dipakai pada motor pesawat terbang dibuat untuk mendapatkann

gesekan yang sekecil- kecilnya, tahan terhadap beban tinggi dan keausan yang seminimum mungkin.

Gbr. 70 Bearing and seal

Konstruksi

Bantalan harus terbuat dari bahan yang tahan terhadap beban yang tinggi dan mempunyai koefisien gesekan yang kecil.Ukuran ukuraannya harus sangat seksama, mempunyai kelonggaran yang sangat kecil untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi tetapi masih dapat bergeser atau berputar dengan bebas dan ringan.

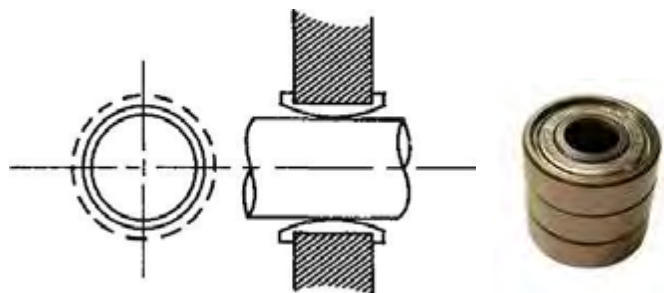
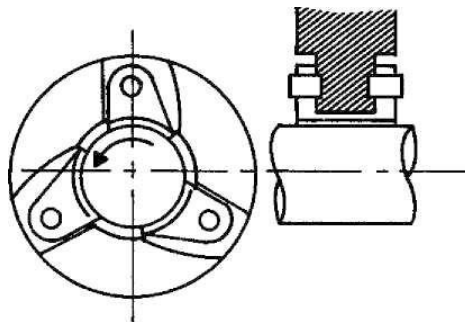
Ada 4 macam bantalan yang banyak dapakai untuk gas turbin engine, yaitu:

-Bantalan peluru (Ball bearing)

-Bantalan rol (roller bearing)

-Sleeve bearing

-Slipper bearing.

Bantalan mempunyai fungsi yang kritis untuk menahan engine yang berputar (rotor). Jumlah bantalan yang diperlukan untuk menahan shaft engine tergantung kepada panjang as dan berat beban yang

Gambar 71 Macam macam bearing Yang digunakan menahan engine pesawat terbang

Panjang dan berat secara langsung berhubungan dengan jenis kompresor yang dipakai. Biasanya axial kompresor yang terpisah (split spool axial compressor) memerlukan penahan yang lebih besar dibandingkan untuk menahan centrifugal compressor.

Jumlah bearing minimum untuk menahan suatu engine pesawat terbang minimal tiga buah, sementara untuk menahan kompresor jenis axial terpisah diperlukan enam atau lebih.

Untuk gas turbin engine biasanya ditahan oleh ball bearing atau roller bearing. Penggunaan jenis Hydrodynamic atau Sliper bearing digunakan untuk menahan gas turbin engine untuk putaran tinggi yaitu 45.000 rpm dan ia mampu menahan beban yang sangat tinggi.

Biasanya ball bearing atau roller bearing memiliki gesekan yang sangat kecil dan lebih di sukai karena:

1. Tahanan gesek yang rendah
2. Tempat pemasangan sangat baik dan bebas berputar
3. Harga relatip murah
4. Mudah dalam pemasangan
5. Tahan menahan beban tinggi dan berputar
6. Mudah mendinginkannya, mudah melumasi, mudah dalam perawatan
7. Dapat menahan beban radial dan beban axial
8. Tahan menahan temperatur yang relatip tinggi

Kelemahannya adalah bahwa ia mudah terpengaruh / rusak akibat benda asing dan dapat gagal tanpa warning lebih dulu.

Biasanya ball bearing ditempatkan pada as kompresor atau turbin karena ia dapat menahan beban Axial (thrust) dan beban radial. Karena roller bearing memiliki permukaan kerja yang lebih luas, ia lebih mampu menahan beban radial dari pada beban thrust. Sehingga roller bearing lebih cocok dipakai pada pesawat terbang jika beban yang dominan adalah beban radial.

Konstruksi rumah untukpemasangan bantalan bola dan peluru harus cukup kuat agar mampu menahan beban axial dan beban radial pada putaran yang relatip tinggi. Rumah bantalan tersebut dilengkapi dengan seal agar oli tidak bocor. Dan oli tersebut biasanya disemprotkan ke bantalan melalui nozle.

Oil seal ini dapat berupa labyrinth (udara bertekanan di semprotkan ke sisi bantalan dengan tekanan sama atau sedikit lebih besar dari tekanan oli, sehingga oli tidak dapat keluar) atau jenis ulir (helical type). Seal jenis lain yang sering dipakai adalah carbon seal, ia memiliki pegas sama dengan material yang dipakai pada sikat karbon pada motor listrik.

B Seal

Seal adalah suatu part/bagian dalam sebuah konstruksi alat/mesin yang berfungsi sebagai penghalang/pengeblok keluar/masuknya cairan, baik itu fluida proses maupun pelumas (lubcication oil). Pada

sepeda motor , mobil atau pesawat udara sering kali mekanik bengkel mengatakan seal dengan istilah karet sil, sil-as kruk, *oil-seal*. Analogi lainnya, coba anda bayangkan sebuah aquarium.

Apa yang akan terjadi jika kaca-kaca ditempelkan tanpa diberi lem kaca/sealant?

Lem kaca setelah mengeras, pada kondisi tersebut adalah seal. Bisa disepakati bahwa Seal lebih merujuk pada pengertian suatu fungsi. Apapun bentuk dan materialnya, apabila berfungsi untuk mencegah kebocoran, maka dia disebut sebagai Seal.

O-ringawalnya adalah merujuk pada karet berbentuk bundar yang berfungsi sebagai *Seal*. Perkembangan teknologi *o-ring* sebagai *secondary sealing device* menghasilkan berbagai tipe *o-ring* berdasarkan materialnya. Material *o-ring*, *a*da dari karet alam, EPDM, Buna, Neoprene, Viton, Chemraz, Kalrez, Isolast hingga *Encapsulated O-Ring,* dimana *o-ring* dibalut dengan *PTFE.* Ada pula yang murni dibuat dari *PTFE* dan disebut dengan *Wedge.*

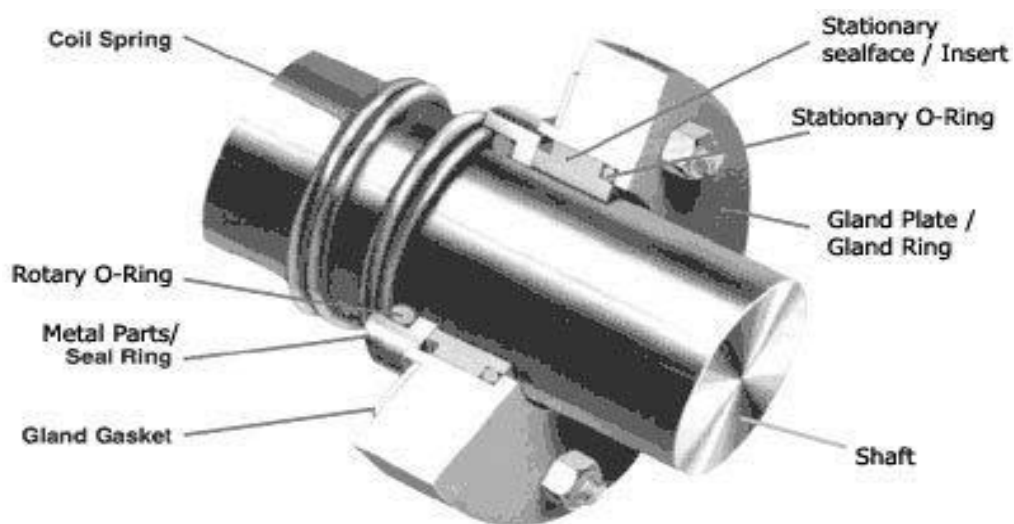
Seal facesadalah bagian paling penting, paling utama dan paling kritis dari sebuah *MechanicalSeal* dan merupakan titik *primary sealing.* Terbuat dari bahan Carbon dengan serangkaian teknik pencampuran, atau keramik atau *Ni-resist,* atau *Silicone Carbide* atau *Tungsten Carbide.* Permukaan material yang saling bertemu *(contact)* dibuat sedemikian halusnya hingga ketidakrataan permukaan mencapai *1* hingga *2 lightband.*

Seringkali *Sealface* disebut juga dengan *contact face. Seal faces* berarti ada 2 *sealface.* Yang satu diam dan melekat pada dinding pompa, dan yang lainnya berputar, melekat pada

shaft. Yang berputar biasanya terbuat dari bahan yang lebih lunak/*soft*. Kombinasinya bisa berupa *carbon versus silicone carbide, carbon vs ceramic, carbon vs tungten carbide, silicone carbide vs silicone carbide, silicone carbide vs tungsten carbide.*

Setelah memahami bagian-bagian yang menyusun *MechanicalSeal*, maka bisa dilanjutkan bahwa MechanicalSeal adalah suatu sealing device yang merupakan kombinasi menyatu antara *sealface* yang melekat pada *shaft* yang berputar dan *sealface* yang diam pada dinding casing/housing pompa/tangki/vessel/kipas statis.

Sealface yang ada pada *shaft* yang berputar seringkali disebut sebagai *Rotary Face/Primary Ring*.

Sedangkan *Sealface* lawannya, yang diam atau dalam kondisi stasioner sering disebut sebagai *StationaryFace/Mating Ring/Seat*.

Gambar 72. Aplikasi seal

Dengan demikian bisa diambil kesimpulan definisi *MechanicalSeal* sebagai berikut:

Sebuah *MechanicalSeal* adalah alat pengeblok cairan/gas pada suatu rotating equipment, yang terdiri atas:

1. **Dua buah *sealface* yang bisa aus, dimana salah satu diam dan satunya lagi berputar, membentuk titik *sealing* primer.**
2. **Satu atau lebih *o-ring/wedge* yang merupakan titik *sealing* sekunder.**
3. **Alat pembeban mekanis untuk membuat *sealface* saling menekan.**
4. **Asesoris metal yang diperlukan untuk melengkapi rangkaian *MechanicalSeal.***

A Pendahuluan

Alat-alat pengatur pada suatu motor turbin gas harus di desain sedemikian rupa sehingga beban kerja dari pilot dapat dikurangi sebanyak mungkin, sehingga benar-benar dia masih dalam batas-batas kemampuannya untuk dapat mengontrol operasi-operasi kerja dari motor tersebut. Untuk mencapai hal itu, aliran bahan-bakar harus secara otomatis terkontrol, setelah Pilot pada mulanya telah meletakkan kontrol pada suatu posisi tertentu untuk memperoleh tenaga motor yang dikehendaki.

Alat-alat penunjuk harus dilengkapi untuk motor pesawat terbang agar pe-tugas atau pilot dapat mengetahui bahwa fungsi dari bermacam-macam sistem pada motor adalah benar ataupun menunjukkan kepada petugas atau pilot tersebut bahwa pada motor terdapat kerusakan atau ketidak beresan fungsi dari motor itu.

Dengan demikian bila Pilot niengetahui bahwa terdapat kegagalan pada beberapa governor maka dia akan mengontrol motor tersebut secara manual, kemudian dia menempatkan motor pada daya yang dikehendaki sedemikian rupa dan dia selalu memonitor alat-alat penunjuk agar selalu berada pada batas-batas yang diizinkan.

Pengontrolan pada motor turbin gas pada umumnya membutuhkan hanya satu tuas pengontrol dari sejumlah indikator untuk memonitor kerja motor tersebut yang ditempatkan pada panel instrumen untuk pilot seperti nampak pada gambar 73.
Kerja dari tuas pengontrol adalah untuk menentukan sejumlah tertentu aliran bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar dan dengan sendirinya akan menentukan pula kecepatan putar dari motor pesawat tersebut.

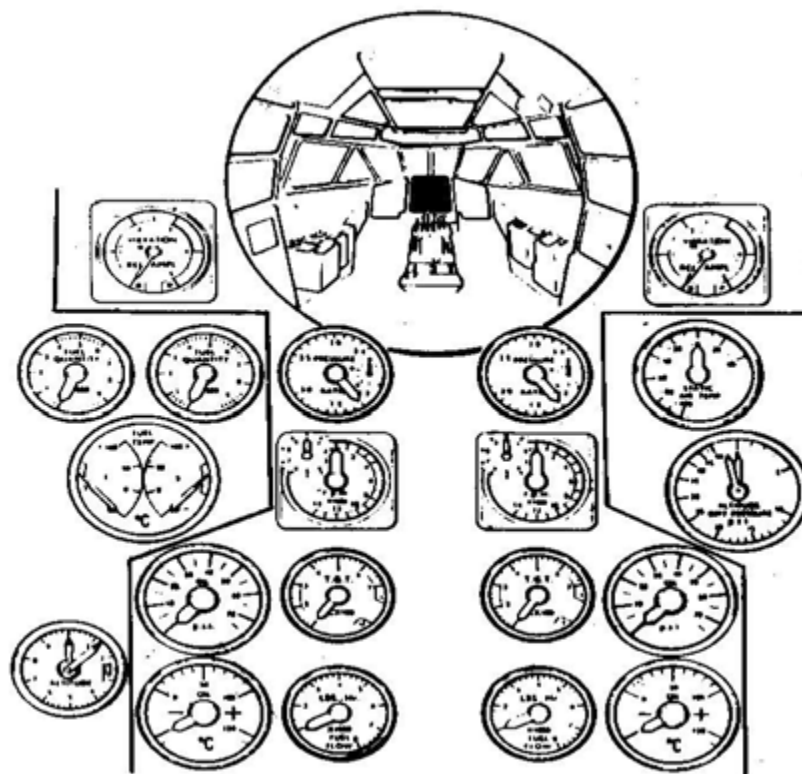
Pada suatu motor yang dilengkapi dengan pembakaran susulan (after burning), sistem tunggal untuk tuas pengontrol tetap dipertahankan, walaupun suatu sistem bahan bakar lain dibutuhkan untuk memberikan dan
mengontrol bahan bakar yang dialirkan kedalam ruangan pembakaran susulan.

Pada motor turbo propeller, tuas trotel pada umumnya dihubungkan dengan unit pengontrol propeller dan dengan demikian masih tetap dipertahankan sistem tunggal dari tuas pengontrol motor tersebut.

Suatu motor turbojet yang dilengkapi dengan pembalik gaya dorong (thrust reverser) pada umumnya dilengkapi dengan tuas pengontrol tambahan untuk

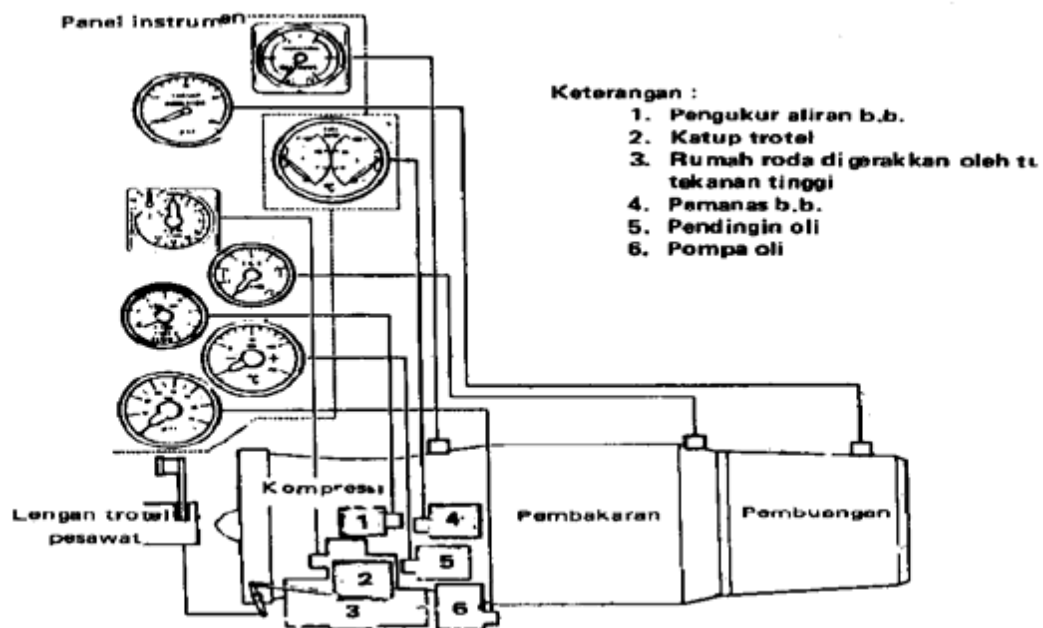
memungkinkan terjadinya gaya dorong yang berbalik arah dari arah semula sesuai dengan yang dikehendaki oleh pilot.

Pada motor turbo propeller tidaklah dibutuhkan tuas pengontrol tambahan untuk mendapatkan gaya dorong yang dibalik karena tuas trotel dengan tuas unit pengontrol propeller (PCU) dibuat saling berhubungan yang dapat digerak-kan sedemikian rupa untuk membuat sudut negatip pada daun propeller sehingga dapat diperoleh gaya dorong yang arahnya terbalik.

Kemampuan dari suatu motor dan kerja dari sistem-sistem pada motor itu dapat dilihat pada alat-alat penunjuk (indikator) dari motor tersebut di dalam kokpit. Suatu diagram tentang hubungan pengontrol dengan indikator-indikator untuk suatu motor turbojet dapat dilihat pada gambar 17.73

Gambar 73 Panel instrumen untuk motor turbojet

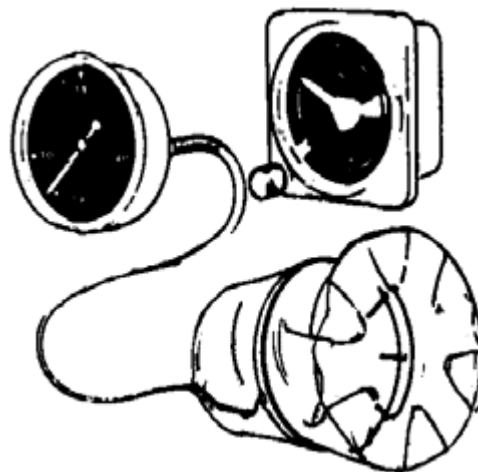
Gaya dorong yang dihasilkan oleh suatu motor turbojet pada umumnya ditinjukkan oleh suatu indikator yang mengukur besarnya gaya dorong (thrust meter), sedangkan tenaga (daya) motor turboprop ditunjukkan oleh indikator yang mengukur momen puntir.

Pengukuran ini dilakukan oleh torsiometer. Alat-alat penunjuk lainnya yang pada urmumnya dipergunakan pada motor turbin gas antara lain adalah indikator untuk mengukur kecepatan putaran poros motor, indikator untuk menunjukkan banyaknya aliran bahan bakaryang masuk ke ruang bakar. Indikator yang menunjukkan temperatur gas buang dimana karena pentingnyadata temperatur gas buang ini pada beberapa motor, gas buang ini harus dapatdikontrol dan dibatasi secara otomatis.

Indikator lain yang tidak kalah penting adalah indikator untuk temperatur dantekanan oli. Kelengkapan-kelengkapan lain yang terdapat pada kokpit pesawatuntuk mengontrol keadaan motor yang sedang bekerja adalah sistem pemberitahuan pada operator atau pilot tentang adanya suatu kegagalan pada motor tersebut atau terdapatnya suatu kondisi bahaya dan dengan demikian dapat segera diambil tindakan untuk mengamankan motor atau pesawat.Suatu motor turbojet pada umumnya ditunjukkan oleh suatu alat penunjuk gaya dorong (thrust meter), sedangkan tenaga (daya) dari suatu motor turboprop ditunjukkan oleh suatu indikator yang mengukur besarnya momen puntir yang dihasilkan oleh motor turboprop itu dan indikator ini disebut torsimeter sualu penunjuk gaya dorong yang dihasilkan oleh pancaran gas yang keluar dari motor turboprop tersebut adalah relatip kecil bila dibandingkan dengan gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller dari motor tersebut.

Gambar 17.74 Hubungan pengontrol dengan indikator suatu motor turbojet

B Indikator gaya dorong

Tidaklah mudah untuk mengetahui besarnya gaya dorong yang dihasilkan oleh suatu motor yang terpasang pada pesawat terbang secara pembacaan langsung. Untuk mengetahui besarnya gaya dorong motor tersebut yang ditunjukkan secara tidak langsung.

Caranya pertama adalah mengukur besarnya tekanan gas yang keluar dari turbin atau pipa pancar, dimana tekanan tersebut kemudian masuk pada bagian pemasukan kompresor yang pada umumnya mempunyai variasi, dan penunjukan inilah yang dianggap setara dengan gaya dorong spesifik dari motor. Indikator ini dapat dilihat pada gambar 75.

Gambar 75 Indikator gaya dorong pada pipa pancar

Cara kedua untuk mengukur besarnya gaya dorong ini adalah pengukuran besarnya perbandingan tekanan (kompresi) dari motor turbojet tersebut yakni perbandingan tekanan gas yang keluar dari turbin dengan tekanan udara yang memasuki bagian pemasukan kompresor.Besarnya perbandingan tekanan tersebut dapat dilihat pada indikator di kokpit dan ini juga menunjukkan besarnya gaya dorong secara tidak langsung juga.

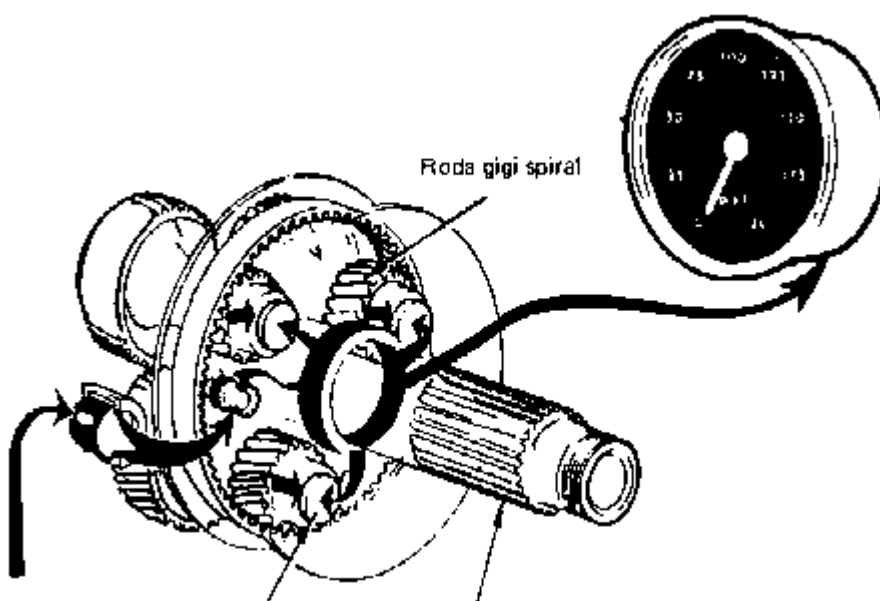
Dalam hal motor turbofan, indikator yang terdapat di kokpit menunjukkan besarnya perbandingan kompresi yang dimaksud adalah perbandingan tekanan gas yang keluar

dari turbin dengan tekanan udara yang keluar dari fan atau tekanan udara yang masuk ke kompresor.

Pengukuran tekanan gas keluar turbin atau pengukuran perbandingan tekanan suatu motor turbojet digunakan oleh penerbang untuk tinggal landas, terbang mendaki dan untuk terbang jelajah dari pesawat sesuai dengan ketentuan-ketentuan atau persyaratan-persyaratan yang telah ditetapkan oleh pabrik pesawat maupun pabrik motor tersebut.

Selain itu juga indikator gaya dorong ini berguna untuk memonitor kondisi dari motor agar jangan sampai terjadi kerusakan pada saat temperatur gas yang diizinkan pada turbin terlampaui pada saat kondisi tinggal landas dimana perbandingan tekanan masih dalam loleransi. Pada indikator gaya dorong ini, yang menunjukkan tekanan gas keluar turbin, pada umumnya hanyalah pengukur tekanan semata mata dan biasanya ditentukan dalam pounds per square inch (psi), inch air raksa (Hg) atau dalam presentasi dari maksimum gaya dorong.

C Indikator puntiran (torsiometer)

Gaya puntir (torsi) dari suatu motor digunakan untuk menunjukkan besarnya tenaga yang dihasilkan oleh suatu motor turboprop dan indikator yang menunjukkan ini disebut indikator puntiran atau torsimeter. Prinsip bekerjanya torsimeter didasarkan atas tendensi berputarnya beberapa bagian dari roda gigi reduksi yang menghubungkan antara poros engkol sebagai sumber tenaga dan poros baling-baling sebagai akibat daripada timbulnya gaya torsi. Besarnya gaya torsi atau momen puntir dari suatu motor adalah berbanding lurus dengan tenaga kuda yang dihasilkan dan ditransmisikan/disalurkan melalui roda gigi reduksi untuk propeller.

Gambar 76 Suatu sistem torsiometer

Torsimeter diperlukan untuk setiap motor turboprop adalah karena tenaga motor (torsi) maksimum dibatasi atau ditentukan oleh kemampuan pesawat terbang dan integritas dan pesawat tersebut.

Bila motor melewati batas nilai torsi yang telah ditentukan maka akan dapat merusak pesawat terbang atau motor pesawat tersebut .

Oleh karena itu Pilot maupun operator harus selalu memperhatikan limitasi dari gaya torsi yang telah ditentukan pada buku pegangan Pilot (Pilot'soperating Handbook), untuk pesawat tertentu dan dia harus mengoperasikan motor pesawat tersebut pada batas-batas torsi yang tertentu tadi.

Untuk mengetahui besarnya torsi dari suatu motor turboprop biasanya di-ukur dengan suatu dinamometer yang dihubungkan dengan motor tersebut pada suatu bangku uji (test cell). Dalarn hal ini motor pesawat merupakan peng-hasil daya yang akan menghasilkan momen puntir pada poros propeller yang dihubungkan dengan dinamometer yang merupakan suatu alat untuk menghitung besarnya beban (lihat gambar 76).

Jadi besarnya torsi adalah besarnya gaya puntir yang terjadi antara penghasil daya dengan beban tahanan pada dinamometer.

atuan dari torsi meter yang dipasang pada kokpit pesawat dimana pada indikalor dapat dibaca langsung dalam satuan tenaga kuda, ft. Ibs, dalam persentase torsi ataupun dalam psi.

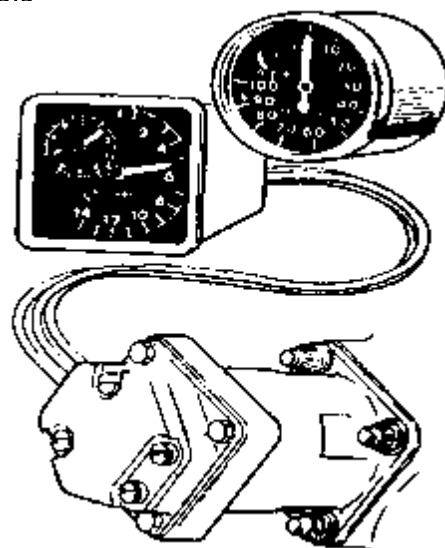
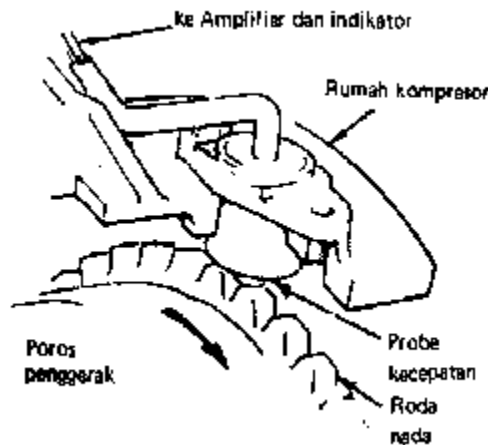
D Indikator kecepatan putar motor

Penunjukan kecepatan putar dari motor adalah secara listrik yang ditransmisikan dari suatu generator kecil yang digerakkan oleh motor tersebut ke suatu indikator yang akan menunjukkan kecepatan putar yang sesungguh-nya tiap menit, dari motor tersebut atau penunjukan dalam persen dari kecepatan motor maksimum, seperti nampak pada gambar 77.

Kecepatan motor sering digunakan untuk menentuhan besarnya gaya dorong, akan tetapi tidak dapat dipakai untuk penunjukan absolut dari gaya dorong yang dihasilkan motor karena temperatur masuk dan kondisi tekanan mempengaruhi kecepatan motor.

Generator untuk indikator kecepatan motor memberikan arus bolak balik tiga phase, dan besarnya frekwensi tergantung dari kccepatan motor pesawat tersebut. Frekwensi yang dihasilkan oleh generator ini akan mengontrol kccepatan motor synkron yang ada di dalam indikator tersebut, juga mengontrol putaran rakitan maknit yang ditempatkan didalam teromol yang dengan scndirinya menggerakkan jarum indikator.

Bila tidak terdapat sarana untuk menempatkan generator suatu probe kecepatan dengan variabel reluktansi yang berdekatan dengan roda nada (phonic wheel), dapat digunakan untuk meng imbas arus listrik yang dibesarkan kemudian masuk ke indikator (lihat gambar 78). Probe kecepatan ditempatkan pada rumah kompresor segaris dengan roda nada yang merupakan bagian dari poros kompresor.

Gigi tertentu pada keliling roda melewati probe setiap satu putaran dan akan mengimbas arus listrik dengan menunjukkan kepada Pilot bahwa motor sedang berputar dan ini khususnya sangat penting pada saat menstart motor, karena lampu tadi akan mengingatkan Pilot untuk membuka keran bahan bakar, agar bahan bakar mengalir ke motor pesawat. Lampu tadi dihubungkan ke sirkuit start sehingga hanya akan menyala hanya pada siklus start s

Gambar .77 Indikator kecepatan putar motor

Gambar.78 Probe kecepatan variable reluktansi dan roda nada

Indikator temperatur gas

Temperatur gas pada turbin, kadang-kadang juga disebut temperatur gas pada bagian keluar (exhaust), ataupun temperatur gas pada pipa pancaran. Temperatur gas turbin ini merupakan variabel yang sangat kritis dari kemampuan suatu motor turbin gas dan karena itu motor harus dilengkapi dengan indikator untuk menunjukkan temperatur pada turbin tersebut.

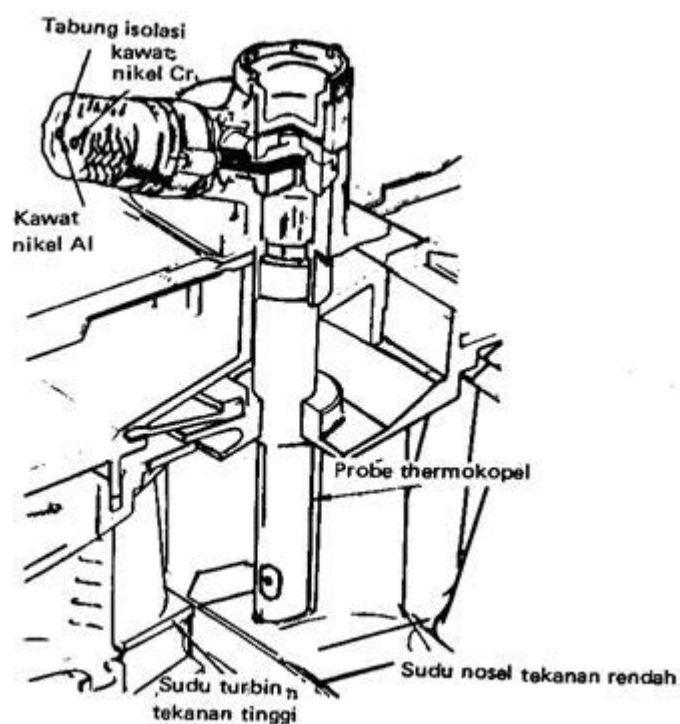
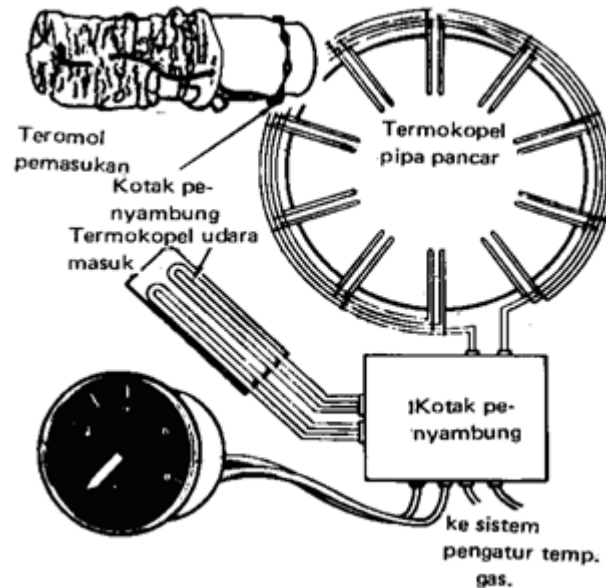
Secara ideal temperatur gas pada pemasukan turbinlah yang harus diukur, karena temperatur gas disihilah yang paling tinggi pada turbin, namun karena temperatur terlalu tinggi, pengukuran kurang praktis dilakukan di daerah ini. Tetapi karena variasi penurunan temperatur mcelalui tingkatan turbin masih dapat diketahui besarnya, maka temperatur gas pada bagian pengeluaran turbin yang pada umumnya diukur dengan mempergunakan termo-elemen sebagai sensing dimana letaknya dapat ditempatkan dengan sebaik-baiknya.

Alternatif lain adalah pengukuran temperatur gas yang berada pada bagian tengah dari turbin, seperti dapat dilihat pada gambar .79

Probe dari termokopel yang gunanya sebagai sensing temperatur yang terdiri dari dua kawat yang materialnya tidak sama dan dihubungkan di dalam suatu pipa yang tertutup, dimana pada pipa terdapat lubang agar gas panas dapat mengalir melalui sensing tersebut.

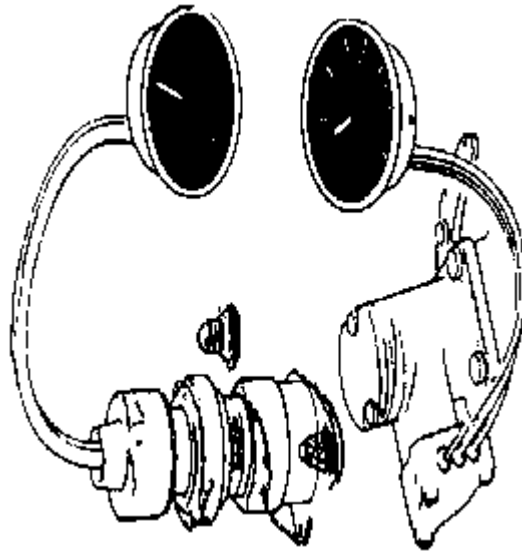
Material kawat-kawat termokopel pada umumnya dari campuran nikel chromium dan nikel aluminium.

Probe-probe ditempatkan pada aliran gas sedemikian rupa sehingga dapat diukur temperatur rata-rata yang baik dan umumnya dihubungkan paralel anara beberapa buah sensing.

Satu indikator yang pada dasarriya adalah millivolt meter yang telah dikalibrasi untuk pembacaan dalam derajat celcius dihubungkan pada sirkuit tadi seperti nampak pada gambar 80.

Gambar 79. Instalasi dari termokopel pada turbin

Gambar 80. Sistem dobel elemen termokopel

Indikator temperature dan tekanan oli

Perlu diketahui bahwa motor bekerja secara betul dan aman yaitu dengan melihat penunjukan akurat yang diperoleh pada kedua indikator yaitu temperatur oli dan tekanan oli dari motor tersebut.

Temperatur dan transmiter tekanan serta indikator-indikator dapat dilihat seperti yang diillustrasikan pada gambar 81 berikut.

Gambar 81. Indikator temperatur oli dan tekanan oli.

Penunjukan temperatur oli tergantung dari elemen yang sensitif sensing terhadap temperatur yang ditempatkan pada sistem oli.

Perubahan temperatur pada sistem menyebabkan adanya perubahan harga tahanan listrik dan dengan demikian akan merubah besarnya arus listrik yang mengalir pada indikator. Jarum penunjuk pada indikator akan mengalami suatu defleksi yang setara dengan besarnya perubahan temperatur didalam sistem oli, dan ini ditunjukkan pada indikator dalam derajat Celcius.

Tekanan oli ditransmisikan secara listrik kesuatu indikator yang berada pada panel instrumen.

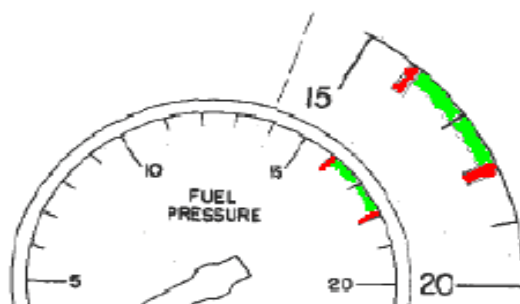
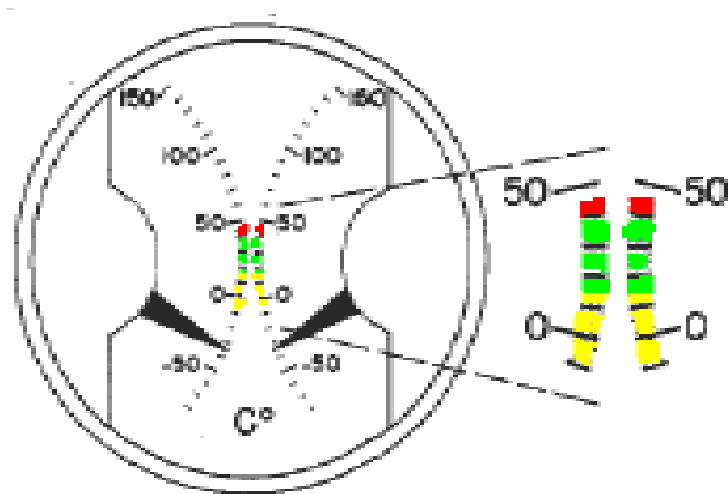
Sebagian instalasi mempergunakan indikator tipe bendera yang hanya menunjukkan besarnya tekanan pada keadaan tinggi, normal dan rendah, sebagian lagi mempergunakan tipe jarum penunjuk yang terkalibrasi dan menunjukkan tekanan oli dalam pounds per square inch (p.s.i.).

Kerja listrik dari setiap tipe hampir sama saja yaitu bahwa tekanan oli yang bekerja pada transmiter akan menyebabkan perubahan perbandingan besarnya arus listrik yang mengalir ke Indikator.

Besarnya perubahan arus ini adalah berbanding lurus dengan besarnya tekanan oli yang diaplikasikan pada transmiter.

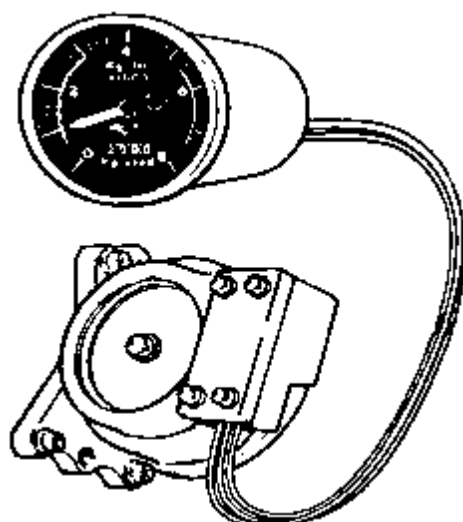
G Indikator suhu dan tekanan bahan bakar

Temperatur dan tekanan persediaan bahan bakar tekanan rendah, ditransmisikan secara listrik ke masing-masing indikator, oleh sebuah atau beberapa sensing dari temperatur yang diukur kemudian akan menunjukkan apakah sistem bahan bakar tekanan rendah dapat memberikan persediaan bahan bakar yang cukup tanpa adanya kavitasi bahan bakar dan mempunyai temperatur yang cukup untuk kondisi dari motor tersebut. Kerja temperatur dan tekanan bahan bakar adalah seperti halnya kerja temperatur dan tekanan oli.

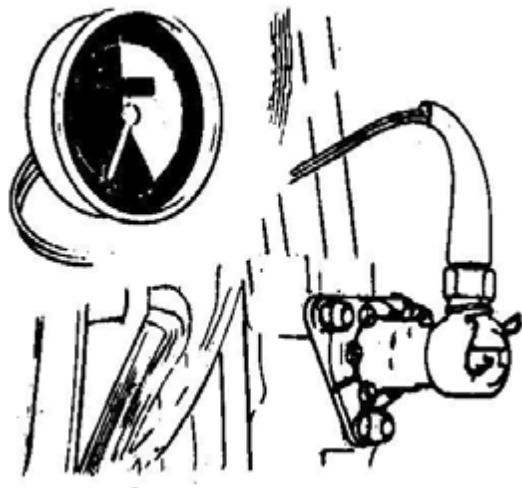
Gambar .82 Penunjukan tekanan oli

Gambar 83. Penunjukan tekanan bahan bakar

Gambar 84. Penunjukan suhu bahan bakar.

H Indikator aliran bahan bakar

Pada pesawat terbang yang mempergunakan beberapa motor yang sama tipenya, bisa jadi terdapat sedikit perbedaan pemakaian bahan bakar antara motor yang satu dan yang lainnya. Pengukuran aliran bahan bakar akan memberikan indikasi yang sangat berguna untuk mengetahui apakah motor bekerja baik dan juga banyaknya pemakaian bahan bakar selama satu penerbangan dilakukan.

Sistem penunjukan dari indikator bahan bakar ini terdiri dari transmiter aliran bahan bakar yang biasanya ditempatkan pada sistem bahan bakar yangbiasanya ditempatkan pada sistem bahan bakar tekanan rendah dan satu indikator yang akan menunjukkan banyaknya dan jumlah total bahan bakar yang digunakan selama pesawat melakukan suatu penerbangan dan pada umumnya ditunjukkan dalam galon, pond, kilogram perjam seperti yang nampak pada gambar 17.85. Transmiter mengukur banyaknya aliran bahan bakar secara listrik dan satu unit elektronis akan memberikan sinyal ke indikator sebanding dengan aliran bahan bakar.

Gambar 85. Transmitter aliran bahan bakar dan indikator

I Indikator getaran (vibrasi)

Pada motor turbojet tingkat getaran (vibrasi) pada umumnya adalah rendah dan suatu perubahan getaran pada motor misalnya karena terjadinya suatu kerusakan pada motor tersebut, dan$_t$ karena getaran relatif kecil bisa saja tidak diketahui sebelumnya. Untuk hal itu maka pada banyak motor turbojet diperlengkapi dengan indikator getaran (vibrasi) untuk secara kontinue dapat diketahui tingkat getaran dari motor'.

Gambar .86 Transmitter getaran dan indikator

Indikator ini biasanya adalah milliammeter yang menerima sinyal dari suatu amplifier suatu transmiter. (Lihat gambar 86).

Transmiter ini ditempatkan pada rumah motor dan dihubungkan secara listrik dengan amplifier dan indikator.

Suatu elemen yang disebut transducer elektro maknetis, akan merubah besarnya vibrasi ke dalam bentuk sinyal listrik dan sinyal listrik ini yang akan menyebabkan jarum pada indikator bergerak dan menunjuk sebanding dengan tingkat vibrasi yang terjadi.

Suatu sistem peringatan dengan lampu yang ditempatkan pada panel instrumen gunanya untuk memberitahukan pada Pilot bahwa tingkatan getaran telah melebihi

tingkatan yang diizinkan bila lampu tersebut menyala, dengan demikian pilot akan dapat mengambil tindakan lebih lanjut agar jangan sampai terjadi kerusakan motor yang lebih besar, misalnya dengan mematikan motor tersebut.

Alat-alat penunjuk/Indikator harus dilengkapi untuk motor pesawat ter-bang agar petugas didaral ataupun pilot dapat mengetahui bahwa fungsi dari bermacam-macam sistem pada motor pesawat terbang tersehut adalah baik atau sebaliknya. Bilamana terdapat kerusakan yang diketahui didarat pada saat dilakukan pemutaran motor oleh petugas maka ia segera menghentikan pemutaran motor ilu kemudian ia mengevaluasi kerusakan tadi dan melakukan perbaikan seperlunya, demikian juga misalnya diketahui oleh pilot adanya kerusakan sistem pada motor

J Rangkuman

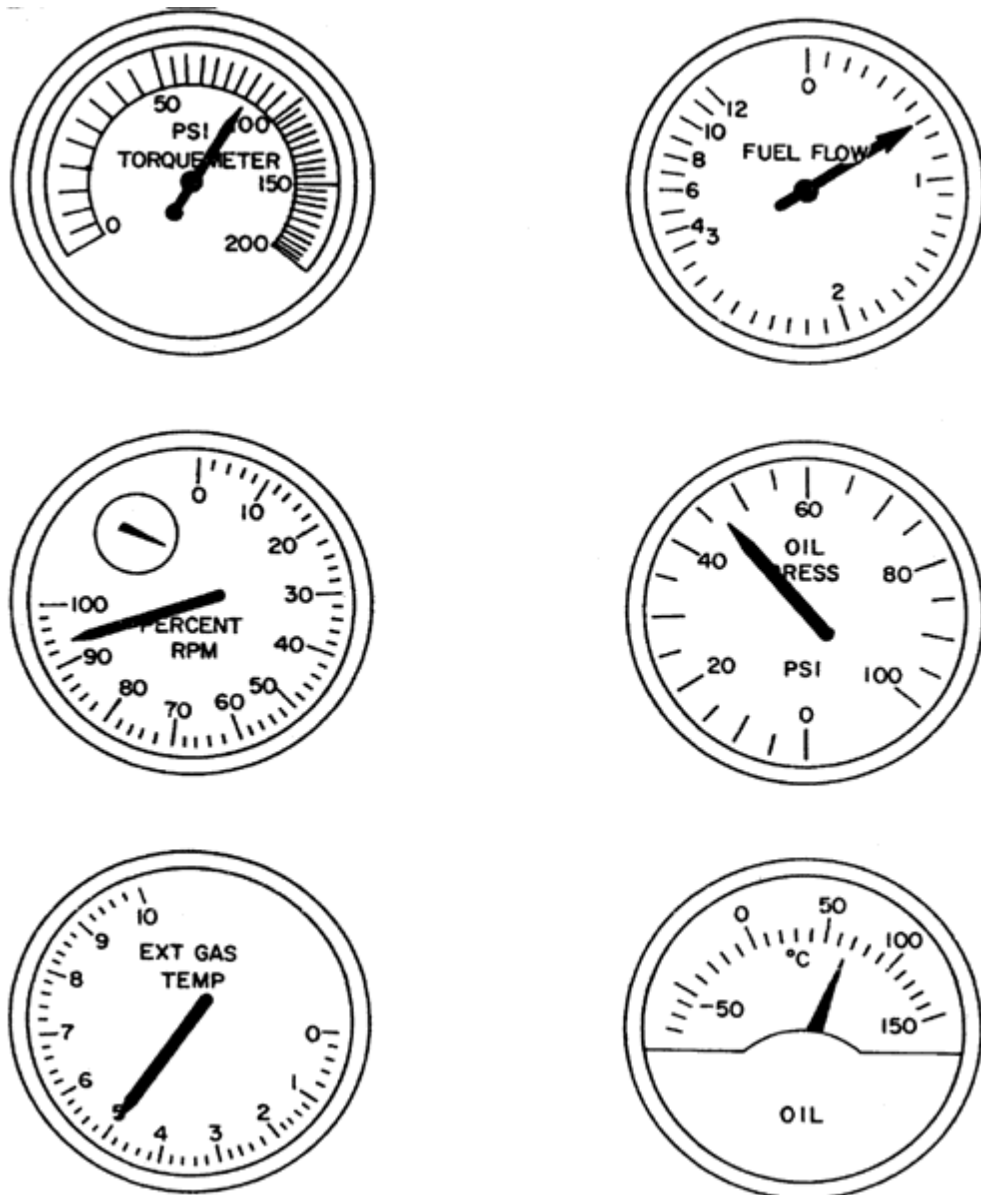
Alat alat penunjuk/indikator harus dilengkapi untuk motor pesawat terbang agar petugas didarat atau pilot dapat mengetahui bahwa fungsi

dari bermacam macam sistem pada motor pesawat terbang adalah baik atau sebaliknya. Bilamana terdapat kerusakan yang diketaui didarat pada saat dilakukan pemutaran motor oleh petugas maka ia segera menghentikan pemutaran motor itu kemudian ia mengevaluasi kerusakan tadi dan melakukan perbaikan seperlunya.

Saat pesawat melakukan penerbangan maka ia akan mengontrol motor tersebut secara manual, kemudian ia menempatkan tuas-tuas pengontrol sedemikian rupa sehingga dengan melihat pada
indikator dapat diketahui bahwa motor masih berada dalam batas-batas yang diidzinkan.

Kemampuan dari suatu motor dan bagaimana kerja dari sistem-
sistem pada motor tersebut dapat dilihat pada indikator-indikator di dalam kokpit. Indikator yang diperlukan untuk motor pesawat terbang pada umumnya adalah :

1. Indikator gaya dorong (thrust meter) untuk turbojet.
2. Indikalor daya motor turboprop (torsimeter).
3. Indikator keccpatan putaran motor.
4. indikator temperatur gas turbin.
5. Indikalor temperatur dan tekanan oli.

6. Indikator temperatur dan tekanan bahan bakar. .
7. Indikator aliran bahan bakar.
8. Indikator getaran.

Gambar 17.87 Pembacaan indikator

Pertanyaan:

1.Terangkan prinsip kerja dari indikator gaya dorong !

2.Terangkan prinsip kerja dari suatu indikator yang menunjukkan besarnya daya yang dihasilkan oleh suatu motor-turboprop !

3.Jelaskan fungsi Indikator tekanan oli ?

4. Sebutkan beberapa f'aktor yang mempengaruhi kecepatan !

5. Terangkan prinsip kerja dari Indikator aliran bahan bakar !

6. Apakah gunanya indikator getaran pada suatu motor turbin !

7. Sebutkanlah tempat-tempat dimana temperatur gas turbindiukur dan terangkan keuntunganataupun kerugian dari yang dipilih !

8. Apakah fungsi dari indikator temperatur gas turbin ?

DAFTAR PUSTAKA

- AIRFRAME & POWERPLANT MECHANICS POWERPLANT HANDBOOK,US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA), 1976
- AIRFRAME & POWERPLANT MECHANICS POWERPLANT HANDBOOK,US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA), COPY RIGHT BY SUMMIT AVIATION INC., 1992-2006
- Copyright © 2005-2011 MechanicalSeal.wordpress.Com